

1. INTRODUCCIÓN

A petición del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), el Consorcio Línea 1 (CL1) realiza en este documento el análisis de las ideas planteadas en el *Entregable N°4. Informe Final de Ingeniería de Valor, del Proyecto de Estructuración Integral de la Primera Línea del Metro de Bogotá* desarrollado por SENER. Documento de Ref. POC10 002 Rev. 03.

Metodológicamente, se hará un primer análisis en el que se analicen una a una las ideas aportadas en la Ingeniería de Valor por SENER, dentro de esas ideas hay algunas que requieren un análisis detallado de las mismas y otras que por motivos de seguridad, calidad o inoportunidad puedan ser aceptadas o descartadas en un análisis preliminar.

En el caso de las ideas requieran un análisis más detallado se realizará tomando en cuenta como mínimo los aspectos de influencia presupuestal, calidad y riesgos.

En este Informe no se analizarán aquellas medidas que impliquen decisiones sobre el modelo de explotación o concesión de la línea ya que son ajenos a los alcances del Diseño Básico Avanzado de la PLMB.

Es importante resaltar que las propuestas más significativas de ahorro que se están haciendo en la Ingeniería de Valor, **se basan en desvincular los Diseños de los términos de referencia elaborados por el Estudio Conceptual, y que su cambio no era posible dentro del marco contractual del Consorcio L1, al estar fijados en dichos términos los criterios de diseño que ahora se están reevaluando.**

Por ello, en los casos en que aunque técnicamente el Consorcio L1, esté de acuerdo con los cambios propuestos en la Ingeniería de Valor se indicará la contradicción con los términos de referencia.

Otro tema importante, es que como SENER advierte, en su informe se analizan posibles estrategias de ahorro, que no todas son compatibles entre sí, para ofrecer un abanico de alternativas al Distrito. En el análisis realizado por el Consorcio L1, se pondrá de manifiesto dicha incompatibilidad cuando exista y se recomendará la estrategia que se considere más adecuada.

2. IDEAS DEL ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR

En las siguientes tablas se resumen las ideas de la Ingeniería de valor propuestas por SENER, indicando la valoración previa del Distrito.

2.1. Ideas aceptadas por el distrito según el Informe de SENER

A. IDEAS ACEPTADAS POR DISTRITO SEGÚN INFORME SENER
VIA
VIA-1: Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota
ESTACIONES
EST-1: Supresión de la Estación Casablanca
EST-6: Supresión de la Estación Marly
EST-10: Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones
EST-11: Profundidad de estaciones en tramos TBM
EST-12: Transformación de estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2
EST-13: Optimización del tapón de fondo de jet-grouting en estaciones
EST-15: Ajuste diseño de contrabóveda en estaciones TBM
TÚNELES
TUN-1: Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85
TUN-2: Optimización del tapón de fondo del túnel entre pantallas.
TUN-3: Optimización de los tratamientos de clave en túneles TBM.
SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN
SEÑ-1: Eliminar sistema ATP de respaldo
SISTEMA DE COMUNICACIONES
COM-1: Integración redes de voz, video y datos en dos redes
PUERTAS DE ANDÉN
PSD-2: Reducción distancia tren-puertas de andén
PSD-3: Incorporar pantallas mixtas info/publicidad
PCO
PCO-1: Aumento del nivel SIL
ENERGÍA
ENE-1: Optimización del estudio eléctrico
ENE-2: Receptoras por fases
MODELO OPERACIONAL
MOP-3: Automatización de estaciones con reducción de personal
OPEX
OPX-2: Ingresos atípicos por publicidad en trenes y estaciones.
OPX-3: Análisis detallado del consumo por coche-km

2.2. Ideas de las que se duda de su oportunidad por diversas razones, según informe de SENER

B. IDEAS DE LAS QUE SE DUDA SU OPORTUNDIAD POR DIVERSAS RAZONES SEGÚN INFORME SENER
VIA-2: Utilización de carril UIC-54
ESTACIONES
EST-7: Ajuste de anchura de andenes en estaciones (parcialmente)
POZOS
POZ-1: Modificación de la tipología estructural de los pozos de salida de emergencia.
SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN
SEÑ-2: Abrir especificación del sistema de señalización
PUERTAS DE ANDÉN
PSD-1: Sistema de apertura selectiva de puertas
MODELO OPERACIONAL
MOP-2: Establecer servicios parciales mediante dos carruseles.
MOP-4: Limitar el grado de automatización a GoA3.
MATERIAL RODANTE
MTR-1: Analizar el mercado asiático de material rodante
MTR-2: Contrato de <i>renting</i> con mantenimiento en lugar de adquirir.
PATIO DE TALLERES Y COCHERA
PTC-1: Construcción de Talleres por fases
PTC-2: Subcontratación de secciones del taller a proveedores de equipos del mat. rod.
OPEX
OPX-1: Ingresos atípicos por alquiler de espacios en estaciones
OPX-4: Transferir el parque auxiliar a las empresas mantenedoras

2.3. Ideas que no se consideran oportunas, según informe de SENER

C. IDEAS QUE NO SE CONSIDERAN OPORTUNAS SEGÚN INFORME SENER
ESTACIONES
EST-2: Supresión de la Estación Palenque
EST-3: Supresión de la Estación Primero de Mayo
EST-4: Supresión de la Estación Nariño
EST-5: Supresión de la Estación Lima
EST-7 BIS: Reducir hasta 1 m caja estaciones tipo 1 y 2, reorganizando elementos estructurales y adosados a los hastiales laterales sin reducción efectiva de la anchura útil de los andenes
EST-8: Optimización del diseño de los accesos de estaciones
EST-9: Ajuste/ejecución diferida de segundo vestíbulo en estaciones
EST-14: Modificación de esclusas en testeros de estaciones
EST-16: Desplazamiento de la Estación Hortúa al pozo de ataque del Parque Tercer M.
TÚNELES
TUN-4: Eliminación del muro forro en tramos de túnel entre pantallas
POZOS
POZ-2: Modificación de las dimensiones del pozo de ataque del parque Tercer Milenio
CONFIGURACIÓN DE LÍNEA
CON-1: Sustitución de túnel por viaducto entre Portal de las Américas y Rosario
MODELO OPERACIONAL
MOP-1: Iniciar la operación de la línea por tramos
MATERIAL RODANTE
MTR-3: Operar desde inicio con intervalo de 90” y trenes de 4 coches
PATIO DE TALLERES Y COCHERA
PTC-3: Reubicar Talleres y Cocheras en un nuevo predio en Mosquera.

3. ANÁLISIS PREVIO DE LAS IDEAS DEL ESTUDIO DE INGENIERÍA DE VALOR

En las tablas incluidas en el apartado anterior se presenta una breve descripción de las distintas ideas relacionadas en el Informe de Ingeniería de Valor (IdV). A continuación de acuerdo con la metodología expuesta en la introducción se lleva a cabo un análisis previo de estas ideas estableciendo las que requieren un análisis más detallado y las que quedan descartadas en este primer análisis.

3.1. Vía

3.1.1. VÍA-1 Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota

Si bien el estudio de SENER, planteaba una solución de optimización del trazado basada en el aumento de peralte de 140 mm hasta 160 mm o 180 mm, esta solución no se considera viable, ya que el aumento de gálibo que implica, haría necesario el aumento del diámetro del túnel.

No obstante combinando esta propuesta con la de eliminación de Estaciones de Marly y Casablanca, permitiría un ajuste en los tiempos de recorrido que conlleve a una disminución de la flota necesaria.

Esta Idea se analizará con mayor detalle en el punto 4.1

3.1.2. VÍA-2 Empleo de carril de menor peso UIC-54 en vez de UIC-60

Esta Idea se analizará con mayor detalle en el punto 4.2, ya que aunque en teoría es cierto lo indicado por SENER, referente al desgaste superficial, también lo es que la sección de carril UIC-60, puede resistir un mayor desgaste superficial sin perder sus características resistentes y por tanto la vida útil del carril es mayor.

3.2. Estaciones

3.2.1. EST-1, EST -2, EST-3, EST-4, EST-5 y EST-6 Supresiones de las Estaciones de Casablanca, Palenque, Primero de Mayo, Nariño, Lima y Marly.

En el estudio de SENER, y basados en las distancias entre zonas de cobertura se planteó la posibilidad de suprimir hasta 6 Estaciones de la PLMB con respecto a lo indicado en los Términos de Referencia. No obstante esta opción en el caso de Palenque y Primero de Mayo, no es compatible con los planes de desarrollo urbano del Distrito que pretende convertir las Estaciones de Metro en polos de desarrollo urbano. Asimismo en el caso de las Estaciones de Nariño y Lima, están ubicadas en una zona de alta concentración

de usuarios, por lo que su eliminación podría originar la saturación de las Estaciones próximas, además en la Estación de Lima se pretende realizar una gran actuación urbana, trasladando varios ministerios a esta zona, además de generarse un nuevo intercambio con el Tranvía de Soacha y el Occidente.

Por todas estas razones, solo se estudiará la posibilidad de suprimir las Estaciones de Casablanca y Marly en el punto 4.3.

3.2.2. EST-7 Reducción de ancho de andenes

Esta propuesta requiere un análisis más detallado que se hace en el punto 4.4

3.2.3. EST-8 Optimización del diseño de accesos a las Estaciones

Esta propuesta consiste básicamente en dilatar en el tiempo la construcción de algunos accesos de la PLMB. Como no constituye un verdadero ahorro sino una ejecución por fases se ha desestimado por SENER y el Distrito.

3.2.4. EST- 9 Ajuste ejecución diferida del segundo vestíbulo de Estaciones

Esta propuesta suponía la equipación de arquitectura e instalaciones (no obra civil) diferida del segundo vestíbulo de las Estaciones.

No obstante, esta opción ha sido descartada, porque no supone un verdadero ahorro, al diferir la inversión y supone un costo adicional al tener que finalizar las Estaciones con el Metro en operación.

3.2.5. EST-10 Redistribución de Cuartos Técnicos y ajuste de longitud de Estaciones Profundas (Tipo Túnel)

Esta opción implica subir del nivel de andén a otros niveles de la Estación una serie de cuartos técnicos que de acuerdo con los Términos de Referencia del Contrato de diseño, debían ubicarse a nivel de andén. Esta opción solo implica alguna pérdida menor de funcionalidad y el Consorcio L1, está de acuerdo en su implementación.

Esta opción implica un ahorro importante y se desarrolla más extensamente en este documento en el punto 4.5.

3.2.6. EST-11 Modificación de la profundidad de Estaciones en los tramos de túnel con TBM.

Esta propuesta implica reducir en el entronque del Túnel con las Estaciones la cobertura en clave de la tuneladora a solo 0,7D. Con esta solución se consigue un ahorro importante en las Estaciones ya que se reduce un nivel en las mismas pero esta solución no está exenta de riesgos, ya que habitualmente se exige una cobertura mínimo de 1D, en túneles con TBM y en suelos de mucha mejor calidad que los de Bogotá.

Como mínimo la implantación de esta medida requiere un incremento importante en los tratamientos del túnel, para prevención de subsidencias, rotura de frente, etc., sin olvidar el riesgo de flotación al existir en gran parte del trazado un nivel freático muy elevado e incluso en superficie.

Esta opción se analiza detalladamente en el punto 4.6, pero hay que resaltar que incluso aunque económicamente fuera algo ventajosa los riesgos constructivos de esta opción son mucho más elevados que en la solución proyectada, y por lo que se desaconseja su implementación.

3.2.7. EST-12 Transformación de Estaciones tipo 3 en Estaciones tipo 2

En el diseño del CL-1, se han proyectado por dificultades de implantación dos Estaciones con andén central, Gran Colombia y Marly. Como consecuencia de otras opciones consideradas, fundamentalmente la supresión de la Estación de Marly, se puede desplazar la Estación de Gran Colombia, de forma que se encuentre una ubicación alternativa en la que sea posible disponer andenes laterales, facilitando asimismo la implantación de la propuesta **TUN-1**. Para considerar esta opción no hay ningún inconveniente técnico desarrollándose la misma en el punto 4.7

3.2.8. EST-13 Optimización del tapón de fondo (jet-grouting) en Estaciones

Esta propuesta ya se ha implementado en el Diseño de la PLMB, reduciéndose el espesor del tapón en más de un 15%, valor superior al indicado por SENER.

3.2.9. EST-14 Supresión de Esclusas en Testeros Estación tipo Túnel

Esta opción supone un ahorro muy pequeño 9.625 MCOP e implica un riesgo constructivo importante de acuerdo con la opinión del Consorcio L1, y fue descartada en un análisis posterior por la Ingeniería de Valor.

3.2.10. EST-15 Ajuste del diseño de las contrabóvedas de Estaciones profundas (tipo Túnel)

Esta propuesta de SENER, se basa en la idea de que se puede elevar la contrabóveda 1 m respecto a la cota actual. En realidad este metro de diferencia se divide en dos tolerancias de 50 cm para posibilitar que en caso de cabeceos ascendentes o descendentes de la tuneladora exista una tolerancia al paso de la misma por las Estaciones. Dadas las dimensiones de la tuneladora 11,80 m, el Consorcio L1, considera que la tolerancia prevista es razonable y adecuada para un diseño básico.

El Consorcio L1, entiende que la reducción de dicha tolerancia debe hacerlo el Contratista, si lo considera conveniente en los diseños constructivos, por tanto no se considera adecuado incorporar esta idea en esta fase de los diseños.

3.2.11. EST-16 Desplazamiento de la Estación Hortúa al pozo de ataque de Tercer Milenio

A priori, puede parecer interesante, trasladar la posición de la Estación Hortúa al Parque del Tercer Milenio, para hacerla coincidir con el pozo de ataque, y disminuir la obra. No obstante, tanto el Distrito como el Consorcio L1, entienden que dado que el Metro es una pieza básica del SITP, debe primar la intermodalidad con un corredor de transporte masivo tan importante como es el Transmilenio de la Caracas, estando previsto un gran intercambio de viajeros entre ambos modos de transporte, por lo que es necesario descartar dicha idea.

3.3. TÚNEL

3.3.1. TUN-1: Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85

Esta opción se viabiliza con la eliminación de la Estación de Marly, no obstante aunque a priori, puede parecer muy interesante, es necesario realizar el análisis de la misma teniendo en cuenta sus implicaciones de forma global. En primer lugar es necesario indicar que esta opción exige profundizar las Estaciones afectadas para mantener la cobertura mínima de un diámetro de la Tuneladora, lo que implicará un costo adicional en estaciones y desde un punto de vista funcional mayores tiempos de viaje total para los usuarios. Adicionalmente dado lo estrecho de la carrera 13, el costo de los tratamientos de protección de edificios es más elevado que en otros tramos de la traza.

Desde el punto de vista del plazo, esta opción supone un incremento del tiempo del plazo importante.

En definitiva esta propuesta requiere un análisis detallado que se realiza en el punto 4.8.

3.3.2. TUN-2: Optimización del tapón de fondo del túnel entre pantallas.

Esta propuesta ya se ha implementado en el Diseño de la PLMB, reduciendo el tapón al mínimo espesor que se considera adecuado por criterios constructivos.

3.3.3. TUN-3: Optimización de los tratamientos de clave en túneles TBM

Según la Ingeniería de Valor considera que “en un estudio pormenorizado, en Fase de Proyecto Constructivo, de los distintos tramos de túnel TBM puede permitir una optimización de los tratamientos previstos sobre clave del túnel en fase de Proyecto Básico”.

En las circunstancias de baja cobertura, con presencia de nivel freático generalizado, y con los terrenos que se encuentran en la ciudad de Bogotá (suelos blandos), existe un riesgo potencial de inestabilidad del terreno sobre la clave durante la ejecución del túnel, por lo que es preciso prever unos tratamientos tipo que permitan asegurar la estabilidad sobre clave (evitar posibles socavones), a la vez que reduzcan los asentamientos en superficie. Las circunstancias que pueden propiciar estos sucesos serían:

- Cobertura reducida con terrenos de baja calidad geotécnica.
- Existencia de niveles de arenas flojas con bajo contenido en finos en la clave de la EPB, lo que puede dar lugar a sobreexcavaciones en la clave que puedan transmitirse a la superficie en forma de socavones, colapsos y/o asentamientos importantes.
- Falta de experiencia en el manejo y control de los parámetros de la tuneladora y el comportamiento del terreno en el inicio de la obra.

Se ha analizado todo el trazado y el perfil geotécnico de la traza para identificar las distintas situaciones, y en consecuencia, se han propuesto los tratamientos que se exponen en el Proyecto.

La Ingeniería de Valor cita como ejemplo “el tramo comprendido entre el PP.KK. 0+750 – 0+825 (Tramo II) en donde se prevén inyecciones de mortero, con cobertura superior a 1•D y materiales identificados sobre la clave Qtb11/Qtb12 (>25% finos), donde concluye que no permite asegurar la necesidad de un tratamiento sobre la clave, teniendo en cuenta, adicionalmente, la posibilidad de aplicar presión de frente (funcionamientos en modo cerrado de la EPB) para controlar la estabilidad de la excavación”.

En este caso, el túnel atraviesa un terreno aluvial compuesto en su mayoría por niveles arenosos sin finos (o pocos finos), de compacidad muy floja (Qtb11), localizados en la clave, y que pueden provocar sobreexcavaciones que puedan transmitirse hasta la superficie en forma de socavones y/o asentamientos

importantes conforme va avanzando la tuneladora. A pesar de trabajar con presión en el frente se puede ir generando huecos en el gap (debido a la falta de cohesión y a la baja compacidad), que si alcanza cierta longitud se puede traducir en un socavón provocando un colapso, con el riesgo y daños que ello puede suponer.

Lógicamente, como bien dice la Ingeniería de Valor, ello se debe analizar más detalladamente en la Fase de Proyecto de Construcción, e incluso se debe recalcularse y analizar durante la obra una vez que se vayan conociendo el comportamiento de los suelos de Bogotá a partir de los resultados obtenidos de la auscultación y de la instrumentación de obra.

Es muy arriesgado plantear en esta Fase un porcentaje de reducción de los tratamientos, ya que se desconoce si va a ser un 10% o un 20%, o incluso también puede darse el caso de que al final se tengan que aplicar más tratamientos que los previstos en esta Fase de Proyecto.

Conclusión

Se considera que con los datos que se dispone en esta Fase de proyecto y el desconocimiento que existe en relación con el comportamiento “real” de los suelos de Bogotá frente a la excavación de un túnel con poca cobertura y con tuneladora EPB de gran diámetro, los tratamientos planteados han sido analizados y están justificados, asumiendo un nivel de riesgo lógico para esta fase de Proyecto. Una reducción de los tratamientos, aunque sea del 10%, significa asumir un mayor riesgo que se considera innecesario, lo cual se traduce en un inconveniente que la Ingeniería de Valor no lo ha recogido en su estudio.

Un suceso de colapso genera una serie de daños cuyos costes son cuantiosos (costes por paradas de maquinaria y en consecuencia por plazos de obra, costes por reparación de daños, costes de indemnización a los afectados,...) además de posibles daños a personas físicas o grandes catástrofes (p.e. hundimiento de edificios,...) lo cual, si se diera un único suceso (aunque no fuera catastrófico) superaría con creces el ahorro planteado por la Ingeniería de Valor.

Es una toma de decisión (la reducción o no de la cuantía de tratamientos) que no se considera que sea objeto de análisis en esta fase de Proyecto, pero si se requiere un estudio detallado en fases sucesivas e incluso durante la ejecución de la obra.

3.3.4. TUN-4: Eliminación del muro forro en tramos de túnel entre pantallas

El muro forro en los tramos de túnel entre pantallas, se ha previsto atendiendo a que el procedimiento de ejecución de muros pantalla con juntas cada 3-5m, implica un riesgo evidente de filtraciones que pueden

agravarse en caso de que una vez ejecutadas las pantallas se produzcan pequeños movimientos verticales sin trascendencia estructural, pero que favorezcan la apertura de las juntas y se incrementen las filtraciones.

Para minimizar esta problemática, que ha dado lugar a patologías importantes en otras líneas de Metro, por ejemplo en el Metro de Río, se ha incorporado a los diseños un forro de hormigón armado anclado a las pantallas que además de impedir las filtraciones confiere una gran rigidez vertical a la sección del túnel.

Esta idea ya fue desechada en el propio informe de Ingeniería de Valor y su aceptación hubiera implicado una merma en la calidad de la solución final.

3.4. Pozos de Emergencia

3.4.1. POZ-1: Modificación de la tipología estructural de los pozos de salida de emergencia.

Este punto se analiza con mayor detalle en el punto 4.9 de este informe.

3.4.2. POZ-2: Modificación de las dimensiones del pozo de ataque del parque Tercer Milenio

La PLMB se ha diseñado considerando el empleo de tres tuneladoras. Dos de ellas tendrían su pozo de ataque ubicado en el Parque de Tercer Milenio. Este pozo se ha diseñado con grandes dimensiones para permitir el trabajo de las dos tuneladoras con mínima interferencia entre ambas.

En la Ingeniería de Valor, se ha planteado la posibilidad de reducir las dimensiones del pozo al mínimo necesario para introducir y montar las tuneladoras de forma sucesiva.

Dado que a fecha de hoy, todavía no está decidido siquiera si la contratación se realizará a un único contratista o varios, y que incluso siendo el mismo contratista podría haber afecciones entre los equipos de trabajo aumentando el plazo de obra, se desaconseja en esta fase preliminar de Diseños Básicos reducir el tamaño del pozo de emergencia y así se ha planteado en las conclusiones del Informe de Ingeniería de Valor.

3.5. Señalización

3.5.1. SEÑ-1: Eliminar sistema ATP de respaldo

En los Términos de Referencia del Contrato de la PLMB, además del CBTC, se planteaba la inclusión de un sistema ATP en Talleres y Cocheras pero, por solicitud de la Interventoría y los términos de referencia, se amplió la instalación de este sistema también al resto de la línea, lo que suponía un sobre costo adicional.

En este sentido, el Consorcio L1 siempre mantuvo que no era necesario un sistema completo de respaldo, pues era suficiente con la implementación de unos circuitos de vía mínimos y señalización ferroviaria para que tanto en el caso de los vehículos de mantenimiento, (que no disponen de CBTC) como en el caso de que una unidad de tren, por avería, tenga que ser conducida hacia talleres o al fondo de saco del final de la línea, el PCC, pueda tener controlada en todo momento la posición de estos vehículos.

En el punto 4.10, se analizará con mayor detalle esta propuesta y el ahorro que implica.

3.6. Comunicaciones

3.6.1. COM-1: Integración redes de voz, video y datos en dos redes

En la propuesta inicial de la Ingeniería de Valor, se planteaba la unificación de todas las redes de voz, vídeo y datos en una sola red. Esta solución tenía el grave inconveniente de que podía afectar a la fiabilidad del sistema de señalización CBTC, por ello en el informe final se plantea como posible optimización la agrupación en dos redes, la de señalización por un lado, y el resto en otra red.

En el punto 4.11, se analizará con mayor detalle esta propuesta y el ahorro que implica

3.7. Puertas de Andén

3.7.1. PSD-1: Sistema de apertura selectiva de puertas

“El sistema de Puertas de Andén es un sistema de seguridad. Un problema en cualquier puerta se traduce muy probablemente en una parada de línea. Hay que recordar que no se puede autorizar la entrada o salida de un tren de una estación si no se tiene la seguridad de que todas las puertas del andén están correctamente cerradas y enclavadas.

La instalación de botones de Apertura Selectiva reducen notablemente el número de maniobras y por tanto el número de averías y por ende, la probabilidad de indisponibilidad de la línea.”

La propuesta considera que la disponibilidad depende del número de veces que las puertas abren y/o cierran y por tanto, la disponibilidad será mayor si se incluye un sistema de apertura selectiva.

Hay dos aspectos que la propuesta no considera y que están en contra de la misma:

- Uno, técnico: la inclusión de un sistema de apertura selectiva reduce la disponibilidad global de la puerta ya que este es susceptible de fallar.

- Otro, operativo, pues el dispositivo citado aumenta el tiempo de apertura de la puerta lo que es ineficaz en las horas punta de un transporte masivo.

Como ejemplo, citaremos que el Metro de Barcelona a pesar de disponer de este dispositivo, no lo aplica ni siquiera en las horas/días valle.

A continuación se analizan las opciones posibles para el automatismo de las Puertas de Anden:

OPCIONES	AUTOMATISMOS EN LA APERTURA DE LAS PUERTAS		VENTAJAS E INCONVENIENTES	CONCLUSIONES
	DE LOS TRENES	DE LOS ANDENES		
1	Automático	Automático	Reduce los tiempos de salida y de acceso de los pasajeros al no requerir de su atención para la apertura. Es la solución habitual en los sistemas GoA4. Es también la opción adoptada cuando se instalan puertas de andén en estaciones con riesgo de caídas a la vía debido a fuertes aglomeraciones de viajeros en la hora punta en relación a la superficie disponible de los andenes en sistemas GoA2 y GoA1 (seguridad)	Es la solución recomendada, especialmente en sistemas de transporte masivo. Puede combinarse con la opción 2.
2	Manual	Automático	El tiempo de salida y de acceso de los viajeros es mayor que en la opción 1 pues la apertura de la puerta es voluntad de los viajeros. En sistemas GoA3, el accionamiento de la puerta (apertura y cierre), suele ser responsabilidad del agente existente a bordo del tren. Es una solución equivalente a un metro tradicional tipo GoA2 o GoA1 sin puertas de andén, en los que el viajero debe abrir la puerta del tren	Esta solución puede ser utilizada en sistemas de transporte masivo en horas y/o días valle, es decir, no punta. Debe combinarse con la opción 1.

OPCIONES	AUTOMATISMOS EN LA APERTURA DE LAS PUERTAS		VENTAJAS E INCONVENIENTES	CONCLUSIONES
	DE LOS TRENES	DE LOS ANDENES		
			tanto desde el interior como del exterior.	
3	Automático	Manual	Esta opción es técnicamente similar a la opción 2 anterior. Sin embargo, a nivel operativo no es una opción utilizada en servicio normal porque el viajero debe abrir la puerta del andén una vez el tren ha abierto sus puertas. No tenemos conocimiento de que se aplique en algún metro, ni siquiera en sistemas GoA2 o GoA1.	No recomendable, al ser una operativa no habitual en los sistemas metro.
4	Manual	Manual	El tiempo de salida y de acceso aumenta en relación a las opciones anteriores y especialmente en relación a la opción 1. No se aplica en sistemas GoA4	No recomendable en sistemas de transporte masivo.

A vista de las diferentes opciones y en aras de la mayor rapidez en la operación, el Consorcio L1 recomienda la opción 1 automático-automático.

3.7.2. PSD-2: Reducción distancia tren-puertas de andén

En el informe se plantea la conveniencia de reducir la velocidad de paso de los trenes por las estaciones para poder reducir el gálibo entre las puertas y los trenes. Este tema ya se ha tenido en cuenta en el diseño de la PLMB, realizado por el Consorcio L1. Este “gap” no debe ser mayor de 50 mm para garantizar que la PMR autónoma con sillas de ruedas puedan acceder al tren sin que las ruedas delanteras, más pequeñas, queden trabadas en el hueco. Aquí, la presencia del personal de la estación debe servir de ayuda para facilitar el acceso, especialmente si el PMR se presenta a la hora punta.

En el caso de la PLMB, la distancia crítica se produce entre la caja del tren y la puerta de andén y no entre el tren y el borde del andén, lo que obligará a añadir un elastómero para regular el gap a los 50 mm citados.

Las normas UIC y EN referentes al cálculo de gálibos no utilizan la velocidad como término de referencia; únicamente, se incluyen márgenes cuyo valor depende de ciertas consideraciones y entre ellas, la velocidad de paso de los trenes por la línea.

En el caso de las estaciones, los márgenes considerados han sido pequeños al objeto de minimizar el gap entre tren y andén, lo que quiere decir, que la estación espera que el tren pare y si no lo hace porque vaya de retirada al taller o depósito o sea un tren de trabajo, la velocidad de paso deberá ser reducida. Una velocidad de 50-60 km/h como se indica es más que suficiente.

En definitiva este punto ha sido tenido en cuenta en los diseños y no supone ningún ahorro adicional de CAPEX.

3.7.3. PSD-3: Incorporar pantallas mixtas info/publicidad

Este punto supone unos posibles ingresos adicionales, pero no implica una optimización ni mejora de los diseños, por lo que no se harán consideraciones adicionales en este informe

3.8. Puesto Central de Operaciones (PCC)

3.8.1. PCO-1: Aumento del nivel SIL

Consortio L1 considera que mantener SIL 0 sería la mejor opción. Se requiere $SIL > 0$ para aquellos automatismos que toman decisiones que afectan directamente a la seguridad.

Teniendo en cuenta el listado de funciones para el PCC que se detallan en el documento 202006-DF-PR23-DOC-09-VF, dichas funciones no se consideran críticas a nivel de seguridad ya que la seguridad real reside en los elementos de campos que son los que han de tomar decisiones que afectan directamente a la seguridad del sistema.

Paralelamente, hay que tener en cuenta que, a nivel de mercado, los principales fabricantes no presentan soluciones que garanticen SIL 1 para los sistemas de CTC, con lo que el coste de elevar el SIL no puede ser cuantificado por el consultor porque significaría la necesidad de certificar los productos de mercado para que cumplieran este requerimiento.

3.9. Energía

3.9.1. ENE-1: Optimización del estudio eléctrico

Esta idea se analiza en el punto 4.12

3.9.2. ENE-2: Receptoras por fases

No parece lógico realizar las SER por fases en función de la potencia requerida en cada etapa de explotación, ya que los principales elementos (y que suponen un mayor coste) no son escalables y por tanto, en la práctica, implicaría que los elementos instalados en la etapa inicial deben desmontarse y sustituirse por los definitivos y el coste prácticamente se duplicaría.

Únicamente se podría plantear no disponer algunos de los equipos en la etapa inicial (por ejemplo el transformador de reserva), para luego instalarlo posteriormente, pero esto implica una menor disponibilidad del sistema en la etapa inicial que debería recogerse en los Términos de Referencia.

3.10. Modelo Operacional

3.10.1. MOP-1: Iniciar la operación de la línea por tramos

Esta opción, que suponía diferir la compra de trenes o la inversión en algunos equipamientos de Estaciones, fue desechada en el propio ejercicio de la Ingeniería de Valor, ya que dada la ubicación de los Patios y Talleres, cualquier fase considerada debería iniciar en Portal de las Américas, y prolongarse como mínimo para atender la demanda de la zona centro norte de Bogotá por lo que se vio su inviabilidad

3.10.2. MOP-2: Establecer servicios parciales mediante dos carruseles

Esta opción, que teóricamente es viable y permitiría en una primera fase diferir la compra de trenes fue desaconsejada totalmente por Metro de Medellín, por las dificultades operativas que implica y por tanto fue desechada.

3.10.3. MOP-3: Automatización de estaciones con reducción de personal

En esta opción, sí que hay una posibilidad de ahorro en CAPEX, ya que el diseño operacional de la PLMB, se ha realizado con un modelo de fuerte presencia de personal en la estación, incluido un Jefe de Estación con un puesto local de mando, que obedece al esquema indicado en los Términos de Referencia, y mantenido firmemente por la Interventoría.

Efectivamente en una línea moderna y totalmente automatizada, este esquema es reiterativo y puede dar lugar a dificultades operativas, por lo que se propone la eliminación de estos puestos locales de mando que implica un ahorro significativo en el CAPEX, como se detalla en el punto 4.13

Además desde el punto de vista de OPEX, se libera personal de la Estación, pudiendo el Jefe de Estación dedicarse a otras tareas enfocadas hacia la atención al usuario.

Asimismo se ha considerado la opción planteada por Metro de Medellín de eliminar las taquillas.

3.10.4. MOP-4: Limitar el grado de automatización a GoA3

Esta propuesta consiste según SENER “en limitar el grado de automatización de la línea a GoA3, es decir, eludir la automatización total sin personal de servicio a bordo de los trenes, disponiendo un auxiliar de operación en cada tren para supervisar el correcto funcionamiento del servicio y atender posibles emergencias. Tanto en el diseño conceptual como en el básico avanzado se plantea un modelo operativo con un grado de automatización GoA4 (UTO o Unmanned Train Operation). Ello implica una alta redundancia en sistemas para garantizar la fiabilidad y disponibilidad debida en este tipo de metros totalmente automáticos sin personal a bordo.

A la vista de la experiencia positiva de Metro Medellín se propone explorar un funcionamiento de la línea de Metro en grado GoA3, con personal de asistencia a bordo, y limitando la redundancia y disponibilidad de los sistemas para abaratar el CAPEX de estas partidas.

Hay que insistir que el grado GoA3 tiene el mismo nivel de automatismo de trenes que el GoA4.

Se eliminan redundancias costosas, imprescindibles para garantizar el grado GoA4, ya que se dispone de personal a bordo, el cual supervisa la operación de embarque y desembarque, así como atiende las posibles incidencias en ruta”

El Consorcio L1 no entiende donde están los ahorros de CAPEX, que indica el Estudio de la Ingeniería de Valor, ya que las redundancias y fiabilidad vienen obligadas por el grado de automatismo que no se reduce.

Las funciones que la norma EN 62290-1 establece para el agente a bordo del tren tienen que ver con la evitación de situaciones de inseguridad que puedan poner en riesgo a los viajeros. Estas funciones en el GoA4 las debe ejecutar automáticamente un dispositivo programado adecuadamente.

La propuesta del Estudio de Ingeniería de Valor confunde automatismos con redundancias. De lo anterior se deduce que el agente sólo puede suplir ciertos automatismos pero nunca podrá suplir ni compensar redundancias costosas como se indica en la propuesta.

Incluso si los automatismos son críticos o de cierta complejidad, la MIL-HDBK-338 recomienda que los ejecute un programa y deje al agente únicamente la decisión de la ejecución pero no la ejecución misma de las acciones del programa que suele ser causa de errores de los agentes, especialmente en situaciones de stress.

Hay que destacar además que los trenes no disponen de cabina de conducción y que el personal a bordo iría mezclado con el pasaje, caso muy distinto al de Medellín en el que hay conductores y tiene un grado de automatización GOA-2.

En definitiva, no comprendemos donde están los ahorros tan considerables en el CAPEX, y al suponer un mayor costo en OPEX se aconseja desechar esta propuesta.

3.11. Configuración De Línea

3.11.1. CON-1: Sustitución de túnel por viaducto entre Portal de las Américas y Rosario

Esta opción ha sido desecheda por el Distrito por el elevado coste urbano que supondría y además en los estudios conceptuales en los que además de la variable de costos se analizaban las variables socioeconómicas y urbanísticas se aconsejaba para este tramo un trazado subterráneo.

3.12. Material Rodante

3.12.1. MTR-1: Analizar el mercado asiático de material rodante

Según el Estudio de Ingeniería de Valor, respecto al estudio realizado por Consorcio L1 sobre la inversión en material rodante:

“La metodología empleada parte de una comparación de precios obtenidos a partir de datos aparecidos en publicaciones especializadas del sector. En el estudio aparece un gráfico muy representativo de la dispersión de precios en el material rodante para ferrocarriles metropolitanos, según el origen de los fabricantes y el equipamiento y características de los vehículos.

La idea MTR-1 propone analizar más en detalle el mercado de material rodante, dedicando especial atención a los proveedores asiáticos, los cuales han alcanzado buenas cuotas de eficiencia con precios muy competitivo

El estudio determina un precio medio por coche de 1,74 M€, por el hecho de ser éste el precio medio de las flotas de trenes equipadas con CBTC en Europa. Sin embargo, los precios del mercado asiático alcanzan como máximo 1,4 M€, aun cuando gran cantidad de ferrocarriles metropolitanos asiáticos ya emplean el CBTC como sistema habitual de seguridad en la circulación, siendo destacables los ejemplos de Singapur, Hong Kong y diversas ciudades de China. La diferencia de precio supone un 17,64 % de ahorro. Por esta razón, la idea MTR-1 propone agotar las posibilidades del mercado asiático de material rodante antes de decidir la adquisición de trenes al precio indicado en el diseño básico avanzado se propone dedicar recursos a un estudio minucioso de los proveedores de material rodante, con especial atención al mercado asiático, ya que los ahorros obtenidos pueden ser muy notables, de hasta un 1,48% del CAPEX total”

La propuesta ha interpretado erróneamente el gráfico, ya que los precios no están en función del origen de los fabricantes sino en función del origen del comprador. Concretamente, el gráfico indica el precio de venta de trenes de un mismo fabricante, por ejemplo, Alstom, en Singapur, Barcelona o Perú. Por tanto, las conclusiones citadas en esta propuesta son erróneas.

De acuerdo con lo manifestado por Metro de Medellín, que ha realizado recientemente una importante compra de trenes, esas diferencias se reducen mucho cuando se exige una calidad similar y en todo caso la licitación está abierta a todos los licitadores y fabricantes.

En definitiva se trata de una reflexión interesante pero que no afecta a los diseños.

3.12.2. MTR-2: Contrato de renting con mantenimiento en lugar de adquirir

Aunque esta propuesta no afecta a los diseños sino únicamente a la forma de adquisición y licitación del material rodante, se considera conveniente realizar alguna consideración adicional:

En un renting de automóviles el riesgo siempre es del proveedor ya que si el automóvil no funciona el proveedor está obligado a entregar un nuevo coche. En el caso de los ferrocarriles esto no es así pues si la gestión no es eficaz, el proveedor no sólo no entrega un nuevo tren sino que quien padece los problemas de indisponibilidad de los trenes es el Operador (la propiedad) en forma de indisponibilidad del servicio.

Para asegurar al máximo que las prestaciones son correctas, el Operador debe disponer de una estructura de personal especializado que audite de forma constante el trabajo realizado, lo que supone un mayor coste total a añadir a los ya citados.

Finalmente, ¿qué garantías hay de que el mantenedor se mantendrá durante 30 años y con qué personal?, los contratos habituales no superan por ello los 15 años.

Es un tema complejo que debe ser analizado a fondo pues las razones o ventajas no son solo económicas.

3.12.3. MTR-3: Operar desde inicio con intervalo de 90” y trenes de 4 coches

Esta opción, aunque teóricamente permite diferir la compra de trenes, no supone un ahorro a medio plazo e implica una altísima frecuencia de servicio inicial totalmente desaconsejable en un nuevo operador. Además en el momento en que la demanda aumentara ligeramente habría un coste adicional en reconfigurar los trenes. En definitiva desde el punto de vista operacional se desaconseja esta solución además de no suponer ningún ahorro a medio plazo.

3.13. Talleres y Cocheras

3.13.1. PTC-1: Construcción de Talleres por fases

En el diseño realizado por el Consorcio L1, se ha planteado la construcción por fases de las cocheras, mientras que en el caso de los talleres se analizó y descartó la construcción del edificio de talleres de material rodante por fases, ya que su coste no es elevado y su posterior construcción afectaría a las normales tareas de mantenimiento y reparación, dificultando la explotación de la línea, por lo que en el Estudio final de Ingeniería de Valor, se descartó esta opción ya que adicionalmente no supone ningún ahorro en CAPEX.

Sólo si se decidiera realizar parte del mantenimiento del material rodante o de las instalaciones electromecánicas mediante empresas externas, ubicadas fuera de la parcela, sería posible realizar reducciones en las superficies de los distintos edificios.

En caso contrario, ya está considerado en el Diseño de la PLMB que sólo se implanta el equipamiento de talleres necesario para la correcta explotación de la etapa inicial de la línea.

3.13.2. PTC-2: Subcontratación de secciones del taller a proveedores de equipos del material rodante

Esta opción, no corresponde analizarla en la fase de diseño, ya que solo afecta a la forma de licitación.

3.13.3. PTC-3: Reubicar Talleres y Cocheras en un nuevo predio en Mosquera.

Esta opción ha sido desechada por el Distrito, dada la complejidad de la tramitación administrativa y ambiental que implicaría el extender la PLMB, fuera de la ciudad de Bogotá.

3.14. Opex

3.14.1. OPX-1: Ingresos atípicos por alquiler de espacios en estaciones, OPX-2: Ingresos atípicos por publicidad en trenes y estaciones

Estas dos ideas consisten en la obtención de ingresos atípicos y no afectan al diseño de la PLMB.

3.14.2. OPX-3: Análisis detallado del consumo por coche-km

Este análisis del consumo se ha revisado en los entregables de la PLMB y se han reducido las cifras indicadas en la información de que disponía SENER. De todas formas es importante señalar que no hay una relación directa y biunívoca entre la potencia instalada y los consumos medios.

Evidentemente a mayor potencia instalada se facilitan mayores consumos, pero no hay una relación lineal y además si se reduce la potencia y consecuentemente las prestaciones del material móvil, se aumenta el tiempo de recorrido y disminuye la velocidad comercial aumentando el número de trenes necesarios.

En el punto 4.14 se analiza este punto con mayor detalle.

3.15. Resumen de Ideas que Requieren Análisis Detallado

En la tabla siguiente se resumen las ideas que se analizaran con mayor detalle en los puntos siguientes:

IDEA	DESCRIPCIÓN
VIA-1	Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota
VIA-2	Utilización de carril UIC-54
EST-1	Supresión de la Estación Casablanca
EST-6	Supresión de la Estación Marly
EST-7	Ajuste de anchura de andenes en estaciones
EST-10	Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones
EST-12	Transformación de estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2
TUN-1	Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85
POZ-1	Modificación de la tipología estructural de los pozos de salida de emergencia.
SEN-1	Eliminar sistema ATP de respaldo
COM-1	Integración redes de voz, video y datos en dos redes
ENE-1	Optimización del estudio eléctrico
MOP-3	Automatización de estaciones con reducción de personal
OPX-3	Análisis detallado del consumo por coche-km

4. ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS QUE REQUIEREN ESTUDIO DETALLADO

4.1. VÍA-1. Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota

Esta idea tiene dos componentes, por un lado la optimización del trazado que se puede conseguir de varias maneras, la primera mejorando los radios de las curvas, la segunda aumentando los peraltes sin modificar el trazado en planta y por otro lado, al suprimir dos estaciones y eliminar los tiempos correspondientes de parada simultaneo con una mejora de trazado especialmente en la zona de la Estación de Casablanca se reduce el tiempo de recorrido y se aumenta la velocidad comercial.

a) Mejora en planta

La mejora de trazado en planta, excepto en las zonas en que se suprimen Estaciones, se ha desechado por el incremento en costo de la adquisición de predios.

b) Incremento de Peralte

En relación con la mejora de peralte hasta 180 mm que propone SENER, es necesario realizar algunas consideraciones adicionales. La norma EN 13803-1 establece para vía de 1.435 mm un peralte máximo de 160 mm y aun cuando cita que excepcionalmente se pueden alcanzar los 180 mm es claro cuando afirma que un peralte superior a los 160 mm introduce una falta de comodidad en los viajeros si el tren se detiene en la curva.

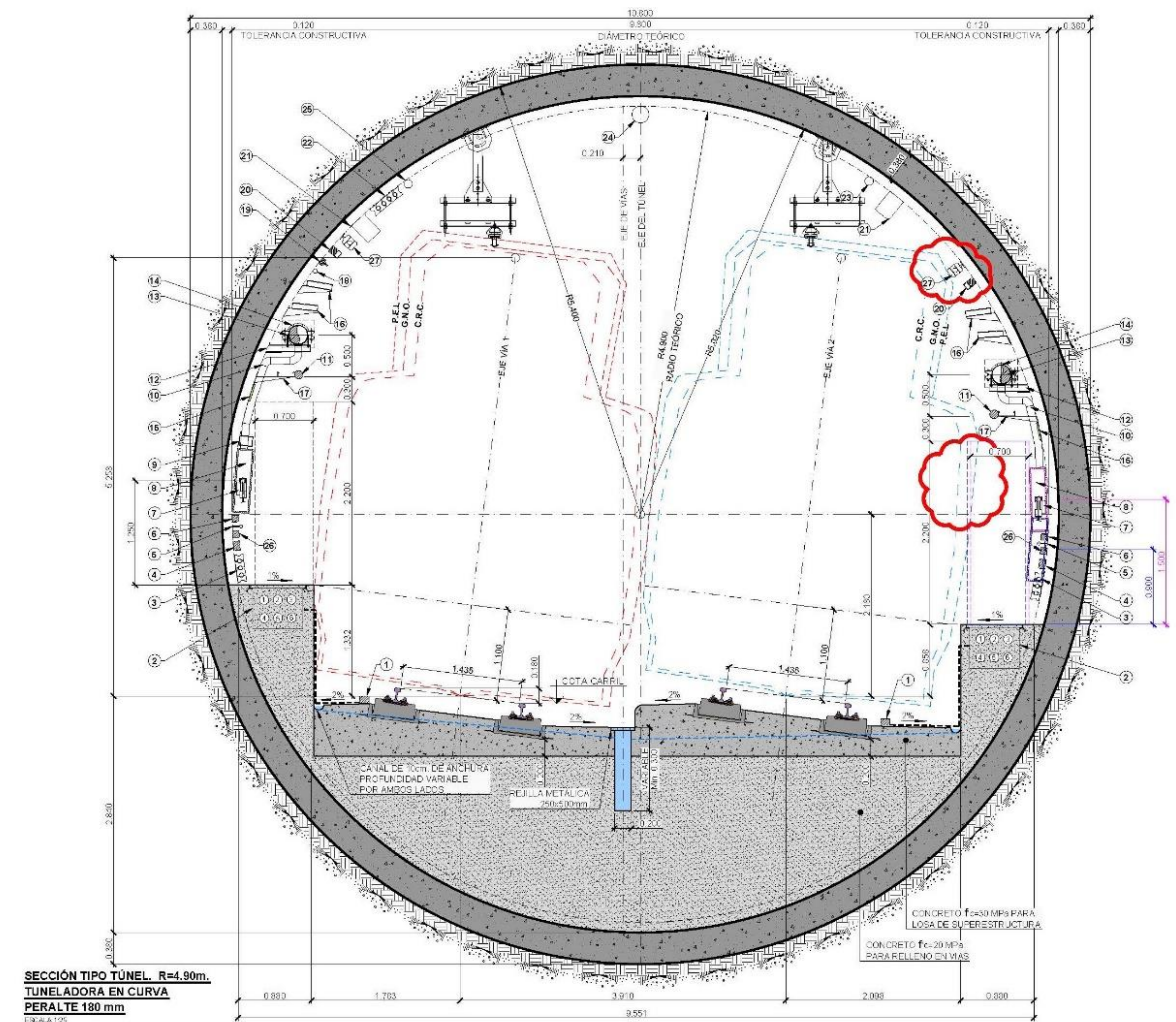
Adicionalmente, el incremento de peralte (por encima de 140 mm, máximo valor del peralte en el trazado realizado por Consorcio L1) modifica las condiciones con las que se definieron los gálibos necesarios para el material rodante y las infraestructuras de la PLMB, y es susceptible de generar la necesidad de aumentar la sección tipo proyectada, lo que debe ser tenido en cuenta para un análisis completo de esta idea, ya que reduciría el ahorro acumulado que se cita en el informe.

Consorcio L1 ha realizado un análisis de los efectos que el aumento del peralte a 180 mm tendría sobre la sección tipo del túnel.

Previamente aclarar respecto a lo indicado en el informe de SENER de modificar la posición de algunas instalaciones, que la más restrictiva a efectos de gálibos es el gabinete contra incendios, y que para ésta en concreto, existen limitaciones para su reubicación dentro de la sección. La NFPA-130 indica que este tipo de instalación deberá instalarse de acuerdo con la NFP 14. En esta otra norma, se indica que las conexiones y estaciones de manguera deben tener libre acceso, sin obstrucciones y localizadas a una altura

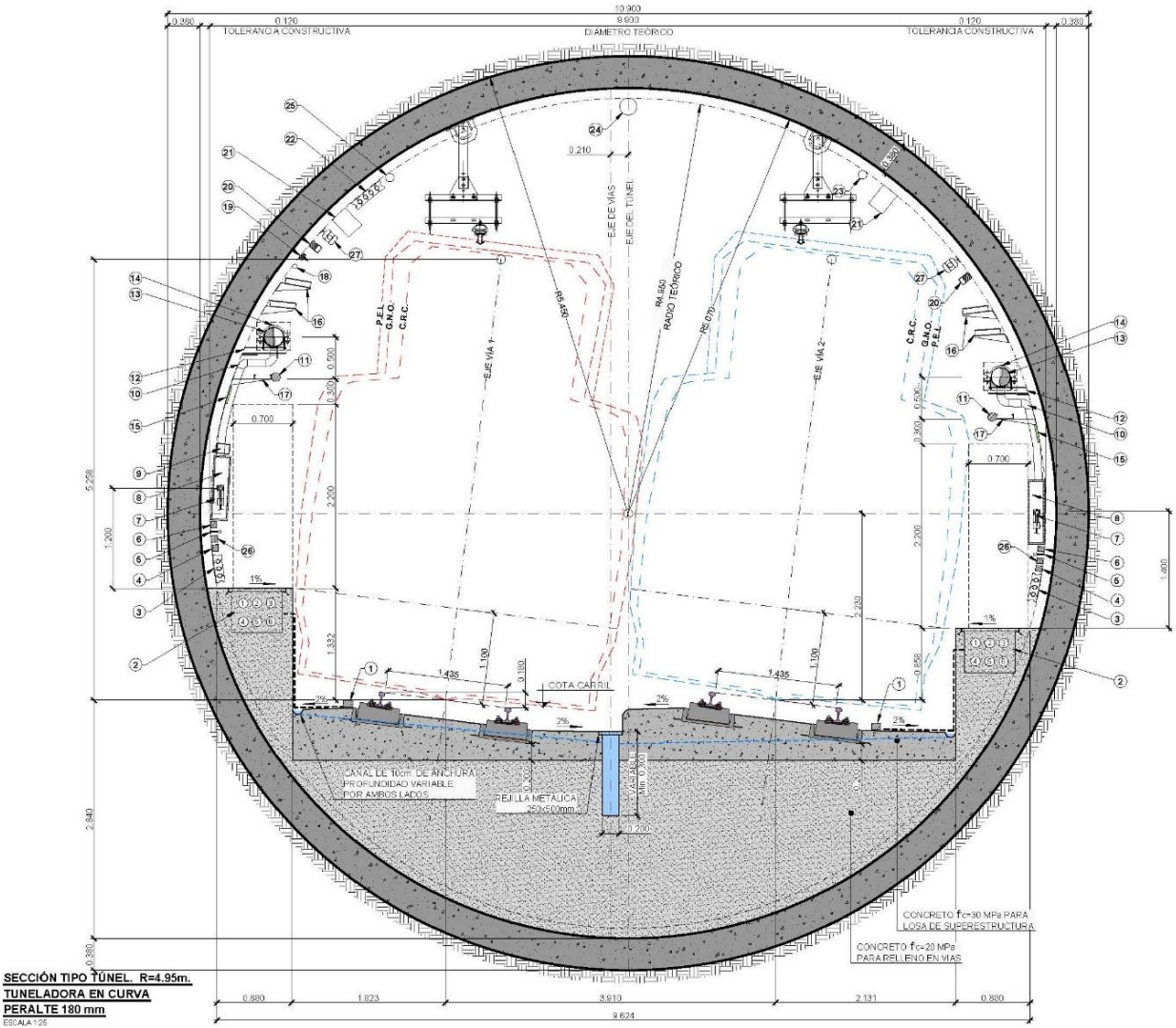
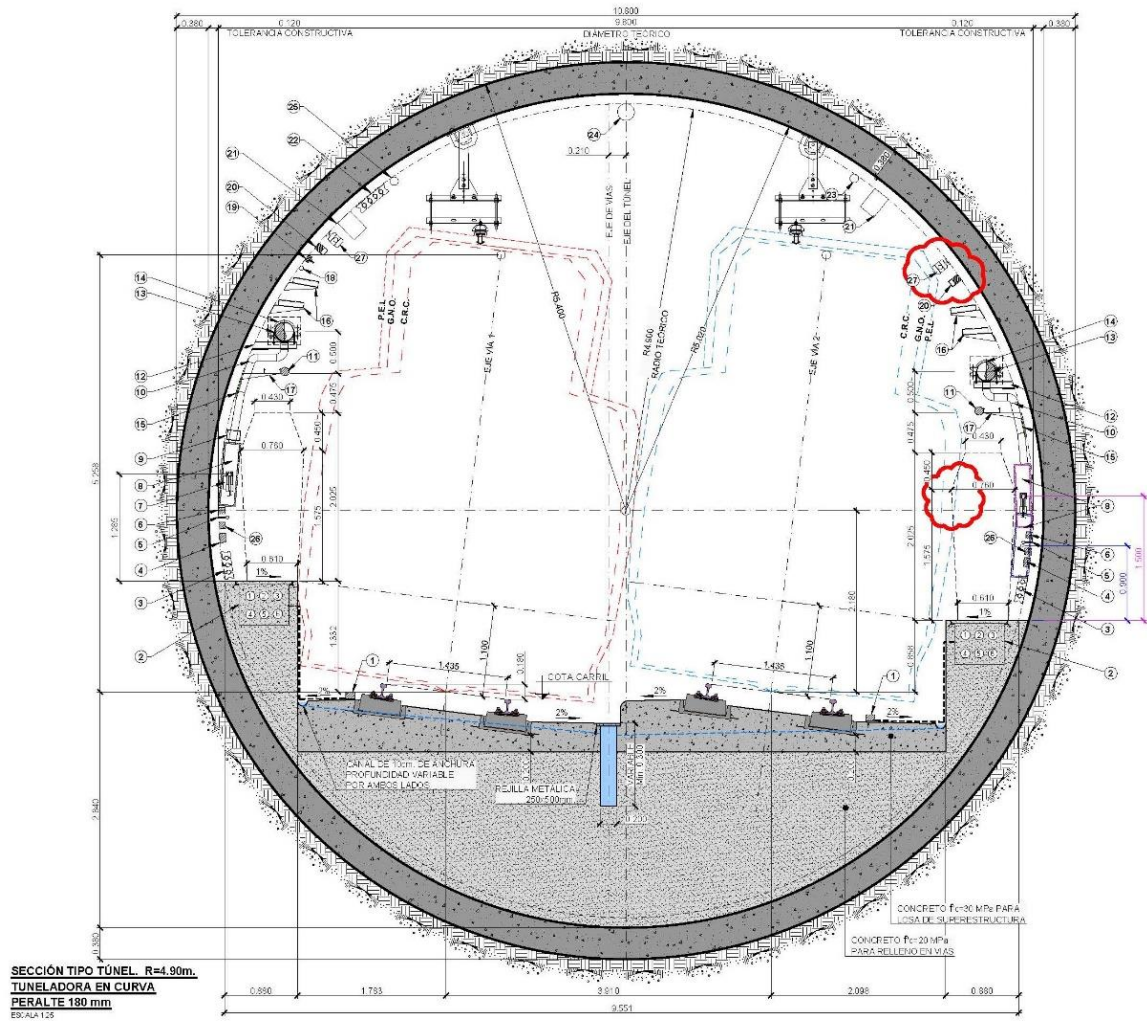
comprendida entre 0,90 m. y 1,50 m. sobre el acabado del piso. Dado que las estaciones en manguera tienen una posición próxima al centro, se considerará, a efectos de altura sobre el piso, que la distancia entre éste y el centro geométrico del gabinete estén dentro del rango indicado. En el análisis realizado se ha tenido en cuenta esta limitación.

Como se advierte en la siguiente figura, para la sección tipo de túnel definida para la PLMB, un aumento de peralte a 180 mm genera interferencias con algunas de las instalaciones en el espacio que debe quedar libre de obstáculos en las pasarelas en ambos hastiales del túnel.

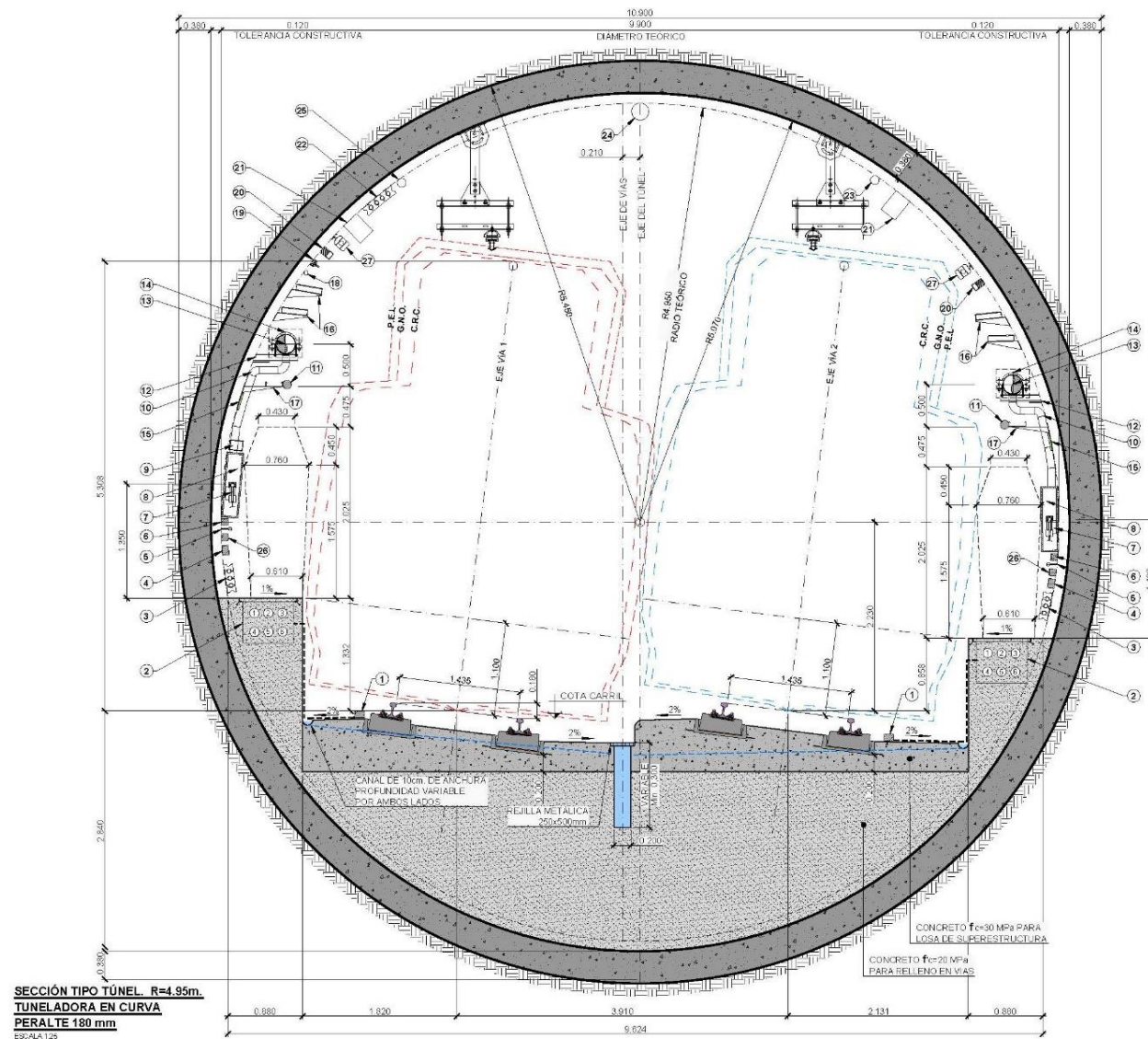


Estas interferencias se producen también si en lugar de considerar un patrón de espacio libre rectangular (2.200 mm de alto * 700 mm de base), se considera el perfil definido por la NFPA al que se refiere SENER en su informe.

Se ha hecho una primera estimación de en qué medida habría que incrementar la sección tipo para que no haya interferencias, obteniéndose que sería necesario aumentar el radio teórico del túnel en 5 cm, pasando de un radio de 4,90 m a 4,95 m.



Se deduce en ambos casos que un aumento del peralte a 180 mm implica la necesidad de aumentar la sección tipo para que se respeten los gálibos necesarios del material rodante.



c) Incremento velocidad comercial

El posible incremento de la velocidad comercial por optimización del trazado se entiende asociado a las ideas de eliminación de las estaciones de Casablanca y Marly, que son desarrolladas en el punto 4.3.

Con esta hipótesis de supresión de esas dos estaciones se ha realizado un nuevo trazado que se adjunta en el Apéndice 1 del presente informe.

Sobre la base de este nuevo trazado optimizado, se ha procedido a realizar una simulación operacional, para la cual se ha tomado como base de partida la simulación operacional realizada en el Estudio Operacional (202006-DF-PR19-DOC-03-VF), de fecha Abril 2015. Las gráficas de marcha se adjuntan en el Apéndice 2 del presente informe.

Los datos más relevantes de la simulación operacional realizada se muestran en la siguiente tabla:

Flota	Escenario 0	
	2021	40
	2026-2029	47
	2050	66
Velocidad Comercial (km/h)		35.48
Tiempo Recorrido (T4_Marcha Tendida)		00:30:16
Tiempo de Parada		00:12:20

La simulación realizada tiene su inicio en la estación de Portal de las Américas y finaliza en Calle 127.

Los datos de demanda, necesarios para la obtención de los tiempos de parada, son los mismos que en el escenario operacional inicial, ya que no se disponen de datos de demanda con la nueva situación. Los tiempos de parada podrían sufrir leves modificaciones, no siendo significativos para la obtención de la flota necesaria.

La longitud total del trazado es de 31.641 m, desglosados de la siguiente forma:

- Ramal Técnico: 5.617 m
- Tramo en Explotación: 25.173 m
- Culatonos Calle 127: 850 m

Los tiempos de explotación resultantes son:

Este incremento de sección, del orden de un 2% con respecto a la sección diseñada para la PLMB, lo que repercutirá en un mayor costo de la obra civil. Esta desventaja económica junto con la reducción de la comodidad de los viajeros mencionada anteriormente, lleva a Consorcio L1 a desaconsejar un incremento de peralte en el trazado de la PLMB.

METRO BOGOTÁ LÍNEA 1: PORTAL DE LAS AMÉRICAS - CALLE 127							
TIEMPOS DE EXPLOTACIÓN (4100 kW)							
ESTACIÓN	PK	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	TIEMPO PARADA	T1	T2	T3	T4
PORTAL DE LAS AMERICAS	1+041		00:00:30				
VILLAVICENCIO	2+505	1+464	00:00:30	00:01:25	00:01:29	00:01:33	00:01:33
PALENQUE	3+378	0+873	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06
KENNEDY	4+176	0+798	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:01
BOYACÁ	5+433	1+257	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22
AV. 1º DE MAYO	6+246	0+813	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:02	00:01:02
AVENIDA 68	7+073	0+827	00:00:40	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:03
ROSARIO	8+242	1+169	00:00:20	00:01:12	00:01:16	00:01:18	00:01:18
NQS	9+617	1+375	00:00:30	00:01:22	00:01:26	00:01:29	00:01:29
SANTANDER	10+927	1+310	00:00:30	00:01:20	00:01:24	00:01:27	00:01:27
NARIÑO	11+718	0+791	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:02	00:01:02
HORTUA	12+538	0+820	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06
SAN VICTORINO	13+834	1+296	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
LIMA	14+494	0+660	00:00:30	00:00:52	00:00:55	00:00:56	00:00:56
LA REBECA	15+167	0+673	00:00:30	00:00:52	00:00:55	00:00:56	00:00:56
PARQUE NACIONAL	16+529	1+362	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
GRAN COLOMBIA	17+583	1+054	00:00:20	00:01:07	00:01:10	00:01:13	00:01:13
SANTO TOMAS	18+938	1+355	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
PLAZA LOURDES	19+656	0+718	00:00:20	00:00:55	00:00:58	00:00:59	00:00:59
AV. DE CHILE	20+748	1+092	00:00:40	00:01:08	00:01:11	00:01:14	00:01:14
CALLE 85	21+693	0+945	00:00:30	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:07
PARQUE 93	22+910	1+217	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22
CALLE 100	23+719	0+809	00:00:30	00:00:57	00:01:00	00:01:02	00:01:02
USAQUEN	25+142	1+423	00:00:20	00:01:23	00:01:27	00:01:31	00:01:31
CALLE 127	26+214	1+072	00:00:30	00:01:08	00:01:11	00:01:14	00:01:14
Velocidad Comercial (km/h)			TIEMPO TOTAL				
36.82			00:11:40 00:27:02 00:28:23 00:29:21 00:29:21				

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2050	
Frecuencia HP	00:01:30
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:41:01
Inversión Marcha Calle 127	00:00:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:41:02
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:00:00
Total Ciclo	01:22:03
Nº Unidades en Servicio	55
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	6
Unidades por pérdida de vuelta	3
Total Unidades	64

Manteniendo las frecuencias horarias descritas en el estudio operacional a lo largo del día y para los distintos días tipo planteados (Laborable, Sábados, Domingos y Festivos), la producción ferroviaria resultante es:

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2021 (FREC 00:02:30)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	292	584	141 912
Sábados	52	224	448	23 286
Domingos y Festivos	70	158	316	22 120
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				187 318
Longitud Itinerario (km)				25.173
KM con VIAJEROS / AÑO				4 715 356
KM sin VIAJEROS / AÑO				235 768
TOTAL KM / AÑO				4 951 124
Flota				44
TOTAL KM / TREN-AÑO				112 526

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2026-2029 (FREC 00:02:10)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	347	694	168 714
Sábados	52	293	586	30 487
Domingos y Festivos	70	193	386	27 020
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				226 221
Longitud Itinerario (km)				25.173
KM con VIAJEROS / AÑO				5 694 660
KM sin VIAJEROS / AÑO				284 733
TOTAL KM / AÑO				5 979 393
Flota				44
TOTAL KM / TREN-AÑO				135 895

Los tiempos resultantes en el sentido contrario son similares a los obtenidos.

Para los distintos horizontes temporales planteados en el estudio, la flota resultante es:

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2021	
Frecuencia HP	00:02:30
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:41:01
Inversión Marcha Calle 127	00:02:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:41:02
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:02:00
Total Ciclo	01:26:03
Nº Unidades en Servicio	35
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	4
Total Unidades	39

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2026-2029	
Frecuencia HP	00:02:10
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:41:01
Inversión Marcha Calle 127	00:02:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:41:02
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:02:00
Total Ciclo	01:26:03
Nº Unidades en Servicio	40
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	4
Total Unidades	44

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2050 (FREC 00:01:30)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	455	910	221 130
Sábados	52	375	750	39 000
Domingos y Festivos	70	250	500	35 020
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				295 150
Longitud Itinerario (km)				25.173
KM con VIAJEROS / AÑO				7 429 811
KM sin VIAJEROS / AÑO				371 491
TOTAL KM / AÑO				7 801 301
Flota				64
TOTAL KM / TREN-AÑO				121 895

Esto implica que la compra de flota recomendada se reduciría en tres unidades, y sus correspondientes recambios, piezas de parque y útiles específicos, lo que supone un ahorro estimado (antes de AIU) de:

- VIA-1 A. Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota: - \$79.355.589.244.

El desglose de esta estimación de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

4.2. VÍA-2 Utilización de carril UIC-54

Sener propone la reducción de la sección de carril de 60 kg/ml (60 E1) a 54 kg/ml (54E1) argumentando que ofrece idénticas prestaciones en cuanto a resistencia y durabilidad, ya que ésta depende mayormente de la resistencia al desgaste superficial que no de la inercia de la sección.

Efectivamente, el desgaste del carril le puede impedir continuar desarrollando la función para la que fue proyectado, y determinar la necesidad de su sustitución, y por tanto, su durabilidad. Pero el peso por metro lineal del carril sí que tiene influencia en su comportamiento frente al desgaste.

En líneas generales, cuanto mayor sea el peso mayor es la duración de un carril, por tener más capacidad resistente y estar sometido a menos flexión y soportar por tanto menor fatiga. Sin embargo, para reducir el coste lo conveniente es el menor peso por metro técnicamente posible.

Existe bibliografía¹ sobre trabajos teóricos y experimentales llevados a cabo por los ferrocarriles de la antigua unión soviética, Shajunianz (1959), según los cuales existe una relación entre el desgaste en mm² de la sección transversal del carril por millón de toneladas brutas soportadas, con las características de la vía y del tráfico.

$$\beta = f(K, Q, r, R, S)$$

siendo

β = desgaste específico del carril (mm²/millón de toneladas brutas)

K= rigidez vertical de la vía

Q=carga por rueda

r=radio de la rueda

R= radio de la curva

S=coeficiente dependiente del deslizamiento de la rueda sobre el carril.

El desgaste vertical máximo admisible del carril viene determinado por el hecho de que el carril continúe teniendo un momento resistente (W) suficiente para resistir las tensiones de flexión.

Los resultados obtenidos con distintos tipos de carriles en vías sometidas a la explotación comercial normal permitieron a Shajunianz (1971) establecer una relación entre el peso por metro lineal de un carril (q), el radio de la vía (R) y el tráfico máximo (T máx) bruto en toneladas que puede soportar antes de su sustitución por desgaste.

$$T_{máx} \approx 0,95 * q^{3/2} / (1 + 800 / R)$$

Para un mismo radio, el tráfico máximo bruto que puede soportar el carril antes de su sustitución por desgaste es mayor cuanto mayor sea el peso por metro lineal, por lo que, conocido el tráfico anual que soportará la vía, se obtendría una mayor vida útil del carril.

Por ejemplo, para el radio mínimo de la PLMB, R= 252 m, se obtendría:

q= 54 kg/ml $T_{máx} \approx 181$ millones de toneladas

q= 60 kg/ml $T_{máx} \approx 212$ millones de toneladas

Para un radio, R= 1.200 m, se obtendría:

q= 54 kg/ml $T_{máx} \approx 452$ millones de toneladas

q= 60 kg/ml $T_{máx} \approx 530$ millones de toneladas

Según los resultados obtenidos, el incremento en el tráfico máximo bruto que puede soportar la vía es del orden del 17% con el empleo de carril UIC 60 en lugar de UIC 54.

¹ Infraestructuras Ferroviarias; López Pita, Andrés - Edición UPC, Barcelona 2010

Por otro lado, el carril UIC 60 frente al carril UIC 54 supone un incremento de peso por metro lineal del orden del 10%. Esto evidentemente implica un mayor costo de adquisición, pero queda compensado con un mayor ciclo de vida.

En otra bibliografía² se define el intervalo de años entre dos renovaciones de vía según el peso por metro lineal del carril, deduciéndose que para un determinado tráfico la durabilidad es mayor cuanto mayor sea el peso por metro lineal de carril, pues aumenta el período entre dos renovaciones.

De la tabla siguiente, se deduce que para tráficos anuales comprendidos entre 7,5 y 11 millones de toneladas, el período entre dos renovaciones se puede incrementar de 20 a 25 años, es decir un 25%, con el empleo de un carril con un peso por metro lineal de un 20% mayor (UIC 60 frente a UIC 50). Con este mismo aumento de peso por metro lineal, en el caso de tráficos anuales entre 25 y 36 millones de toneladas, el período entre dos renovaciones se puede incrementar de 10 a 12 años, es decir un 20 %.

rail section, kg/m	gross traffic (including locomotives) on one track (gross tonnes-kilometres or GTK)			
	10 × 10 ³ GTK/day 2.5 to 3.6 × 10 ⁶ GTK/year	30 × 10 ³ GTK/day 7.5 to 11 × 10 ⁶ GTK/year	100 × 10 ³ GTK/day 25 to 36 × 10 ⁶ GTK/year	300 × 10 ³ GTK/day 75 to 108 × 10 ⁶ GTK/year
50	40 (30 to 50)	20 (15 to 30)	10 (8 to 20)	—
60	—	25 (20 to 30)	12 (10 to 25)	6 (4 to 12)
70	—	—	—	7 (5 to 14)

Fuente: Prices and Costs in The Railway Sector ; J.P. Baumgartner ; 2001

Por otro lado, la UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) recomienda en la UIC 715-2 R (Recommendations for management of rails) la estandarización en el uso de los perfiles de carril UIC 54 y UIC 60. Y de manera específica, por razones que tienen que ver con la resistencia a la fatiga, recomienda el uso de UIC 60 en líneas muy pesadas o líneas de alta velocidad.

En general, las Administraciones Ferroviarias suelen establecer en base a su experiencia un cierto tipo de carril en función de la densidad del tráfico de sus líneas. Algunos ejemplos citados en ³ se recogen en la tabla siguiente.

FRANCIA		ESPAÑA		ORE	
TBR/día	peso carril (kg/m)	Tipo de línea	peso carril (kg/m)	TBR/día	peso carril (kg/m)
hasta 14.000	46	red arterial convencional	54	menos de 30.000	de 46 a 50
de 14.000 a 30.000	50	líneas restantes	54	de 30.000 a 60.000	de 50 a 60
más de 50.000	60	red de alta velocidad	60	más de 60.000	60

En relación con esta tabla, conviene recordar el importante tráfico medio anual por sentido que soportará la PLMB:

$$T = \text{TBR} / 10^6 = 38,53 \text{ millones t}$$

Y las toneladas medias diarias transportadas por sentido: 105.570 t

Este tráfico puede parecer, en principio, muy elevado para una línea de metro, pero lo cierto es que, aunque con la denominación de “metro”, la PLMB tiene determinadas características de tráfico que la sitúan cerca de la alta velocidad.

En el año 2021, con una frecuencia de 2,5 minutos, en un día laborable, está previsto que la PLMB inicie su actividad con unas 300 circulaciones por sentido, que evolucionarán hasta las 455 en el año 2050 con una frecuencia de 1,5 minutos.

Como referencia, y según publica ADIF (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias en España) en su página web, entre 1992 y 2011, la línea de alta velocidad entre Sevilla y Madrid transportó 56 millones de

² Prices and Costs in The Railway Sector ; J.P. Baumgartner ; 2001

³ M. Losada. Estructura de la Vía. 1987

viajeros, lo que equivale a una media de 24 circulaciones diarias. Y aunque por esta línea circulan también trenes distintos de la alta velocidad que generan el correspondiente tráfico, sirve para ilustrar que es un orden de magnitud de circulaciones inferior al que se prevé en la PLMB. Otro ejemplo sería la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona, que registró entre 2008 y 2013, cerca de 16 millones de viajeros, lo que equivale a una media de 22 circulaciones diarias.

Otro aspecto a considerar es la carga por eje, que para la PLMB es de 17,83 toneladas. De los trenes de alta velocidad en servicio en España actualmente, por ejemplo, la línea Madrid-Sevilla (la primera que se puso en funcionamiento en 1992) tiene una carga por eje de 17,2 toneladas. Desde 1992 se han puesto en funcionamiento más líneas de alta velocidad en España, siendo la carga por eje más pequeña de 15 toneladas, para la serie 103. (Datos extraídos de la web de Renfe “Nuestra flota”)

En términos relativos, el carril UIC 60 frente al carril UIC 54 supone un incremento de peso por metro lineal del orden del 10%. Esto evidentemente implica un mayor costo de adquisición, pero como se ha descrito en los apartados anteriores queda compensado con un mayor ciclo de vida. Si se tiene en cuenta además el importante tráfico que está previsto y la práctica internacional en líneas de similares características, CL1 sigue aconsejando mantener el carril UIC 60 en la PLMB.

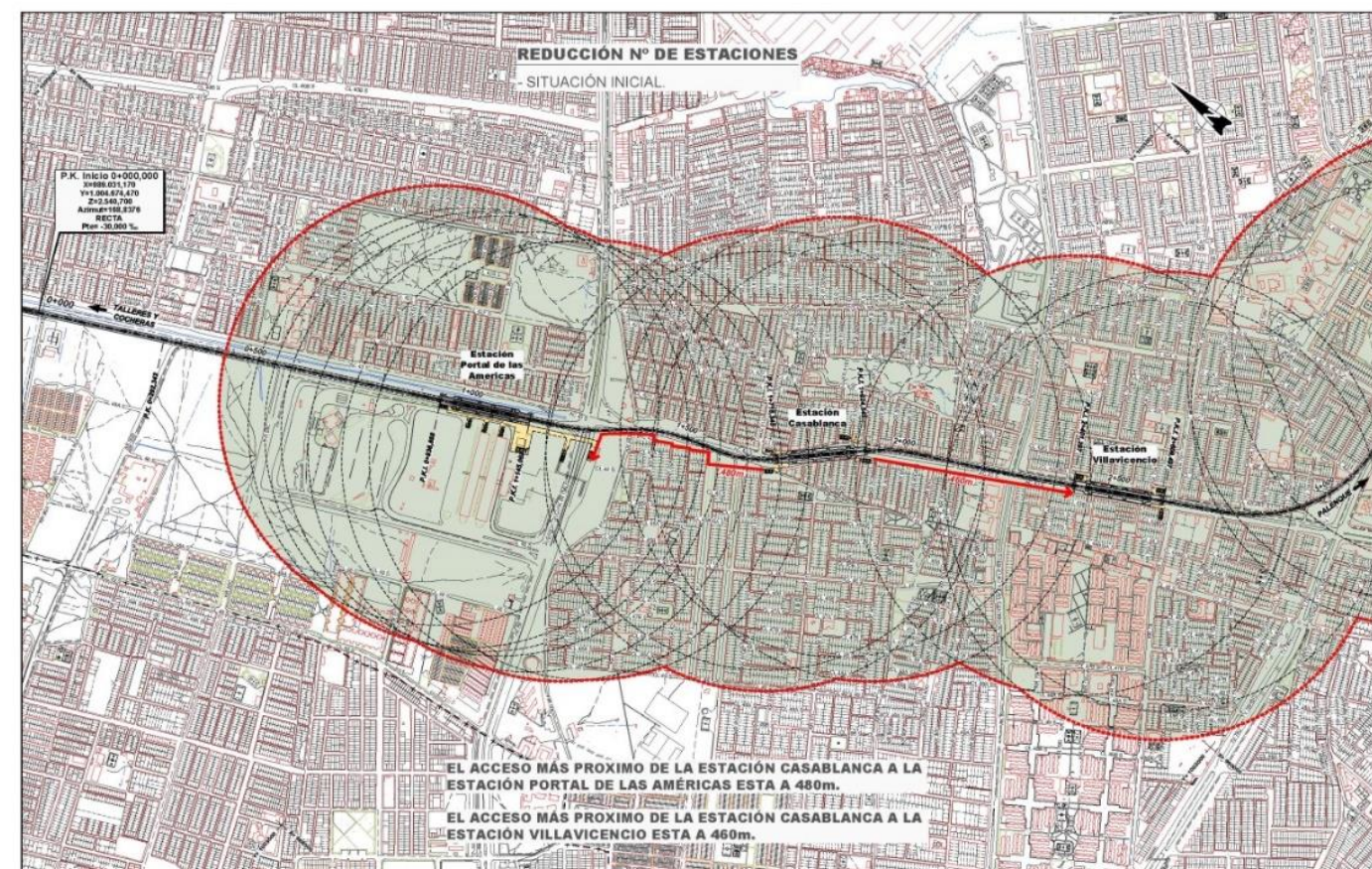
4.3. EST-1 y EST-6 Supresión de las Estaciones de Casablanca y Marly

La supresión de las estaciones de Casablanca y Marly tiene las siguientes implicaciones:

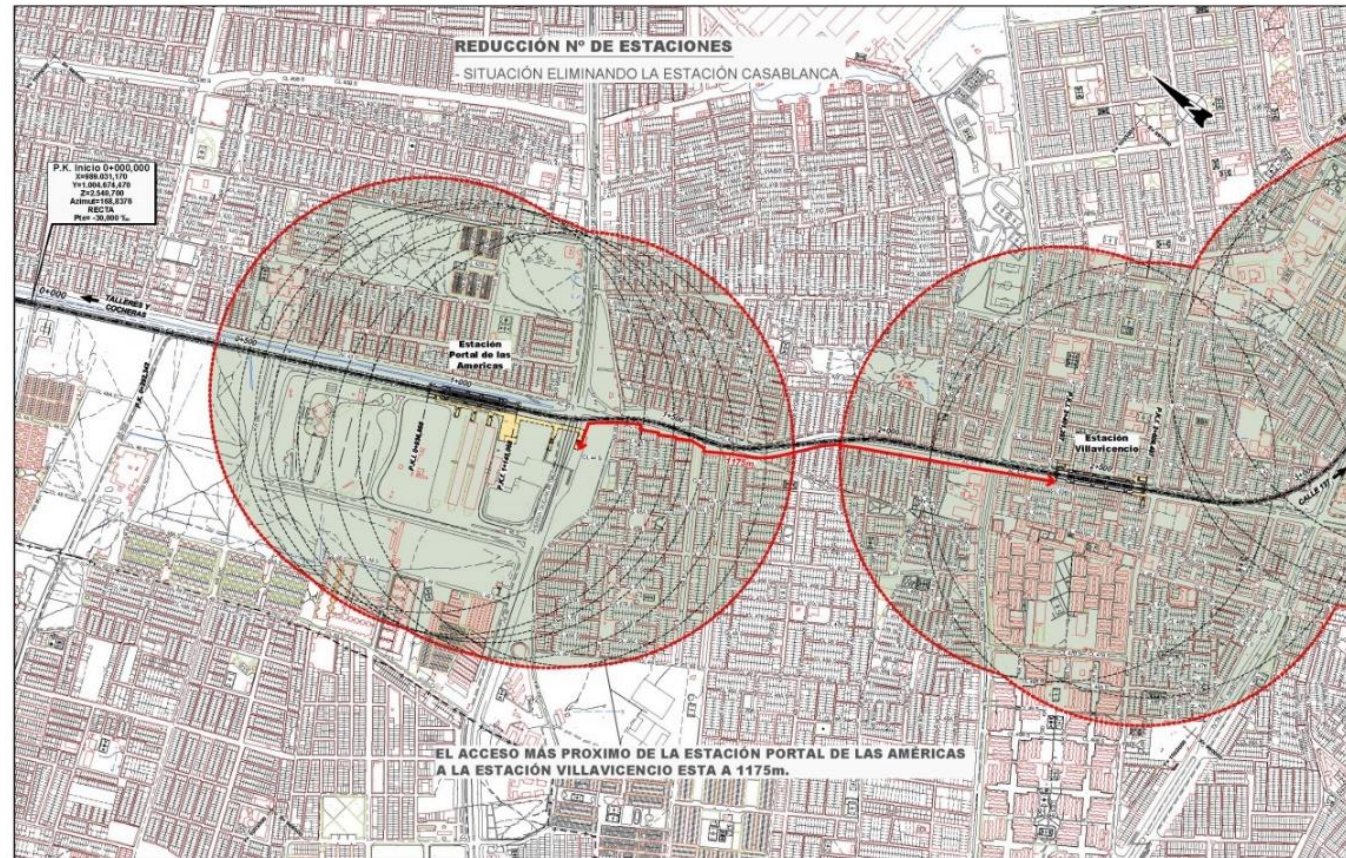
- Incremento en la distancia y los tiempos de recorrido de los usuarios para acceder al Metro.
- Disminución teórica de la demanda de la Línea por la supresión de las Estaciones
- Ahorro en las inversiones tanto por el costo directo de las Estaciones, como por la mejora en la velocidad comercial
- Ahorro en el OPEX, al disminuir el número de Estaciones y de vehículos necesarios.

En el caso de la Estación de Casablanca, ésta se halla a una distancia muy pequeña tanto de la estación de Portal de las Américas como de la estación de Villavicencio, situándose los accesos más próximos de las citadas estaciones a los de Casablanca a una distancia comprendida entre los 460 y 480 m.

Como se advierte en la figura siguiente, esta proximidad entre estaciones se traduce en un amplio solape entre las áreas de influencia de radio 500 m consideradas alrededor de cada acceso a la estación.



La supresión de la Estación de Casablanca amplía la distancia entre los accesos más próximos a las estaciones contiguas de Portal de las Américas y Villavicencio, pasando a ser de 1.175 m, tal y como se muestra en la siguiente figura.

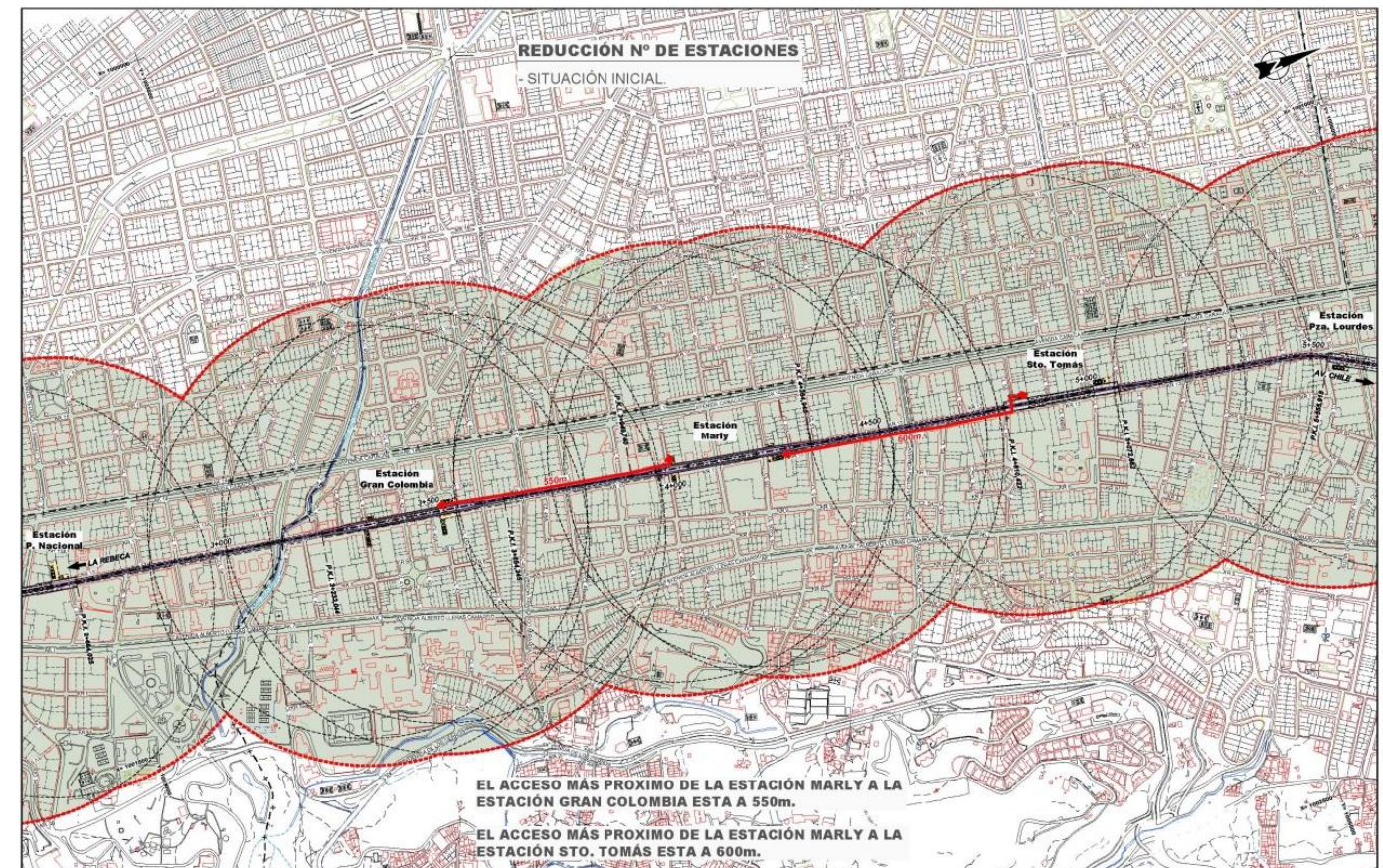


Es indudable que la nueva situación que se genera implica, para una parte de la demanda asociada la Estación de Casablanca, cierto empeoramiento de las condiciones de acceso a la PLMB, al verse incrementada la distancia a recorrer por el usuario, lo que implicará una redistribución de la demanda atendida inicialmente por la estación entre aquellos que sigan accediendo al sistema Metro, bien por la Estación de Villavicencio o por la Estación de Portal de las Américas, y aquellos que descarten acceder al sistema Metro considerando otros medios de transporte.

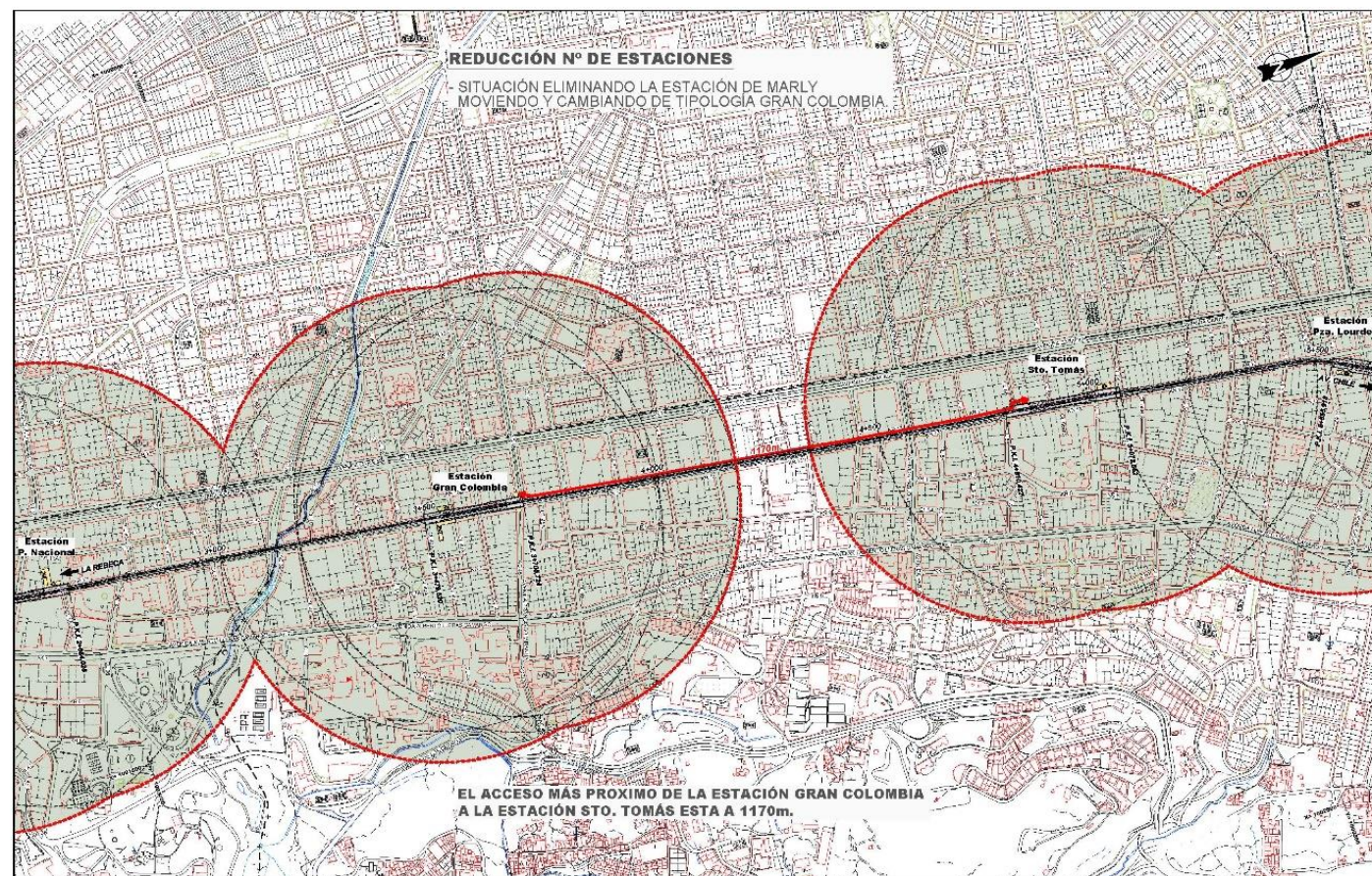
Este posible efecto disuasorio puede tener un peso mayor en el caso de ciudades con una amplia oferta de medios de transporte público, pero en el caso de la ciudad de Bogotá, no es de esperar que sea así, dado que la PLMB va a suponer un cambio cualitativo en la movilidad de la ciudad, que previsiblemente será entendido como una oportunidad por la población.

Por otro lado, dado que la supresión de la Estación de Casablanca amplía la distancia entre estaciones será necesario la construcción de un pozo de emergencia en el túnel en cumplimiento de la normativa NFPA-130 (debe haber un pozo de emergencia en una distancia no mayor de 762 m de los extremos de las estaciones).

En cuanto a la Estación de Marly, ésta se sitúa entre las estaciones de Gran Colombia y Santo Tomás. Según se puede apreciar en la figura, el acceso más próximo de la Estación Marly se sitúa a 550 metros del acceso más próximo de la Estación Gran Colombia. En su otro extremo, el acceso más próximo de la Estación de Marly se sitúa a 600 metros del acceso más próximo de la Estación Santo Tomás.



La supresión de la Estación de Marly amplía la distancia entre los accesos más próximos a las estaciones contiguas de Gran Colombia y Marly, pasando a ser de 1.170 m, tal y como se muestra en la siguiente figura.



En este caso, suprimiendo esta estación y reubicando la de Gran Colombia y posiblemente Santo Tomás, se podría optimizar algo esa distancia. No obstante, esta nueva situación generará, como ya se describió en el caso de la Estación de Casablanca, una redistribución de la demanda inicialmente atendida por la Estación de Marly.

En relación con la demanda, la Secretaría de Movilidad ha realizado unas primeras modelaciones que dan como resultado que la demanda global de la Línea no se ve afectada por la supresión de estas Estaciones y que incluso sube ligeramente por la mejora en la velocidad comercial, por lo que se considera viable su supresión.

Al igual que ocurría con la supresión de la Estación de Casablanca, al aumentar la distancia entre estaciones también será necesario en este caso, la construcción de un pozo de emergencia en el túnel en cumplimiento

de la normativa NFPA-130 (debe haber un pozo de emergencia en una distancia no mayor de 762 m de los extremos de las estaciones).

Los planos con los círculos de influencia para 500 m alrededor de cada acceso para las estaciones de Casablanca y Marly se adjuntan en el Apéndice 3 del presente informe.

La aplicación de esta idea a la PLMB implica que los tramos en los que se suprime la estación pasen a ser túnel por lo que en la estimación del ahorro se ha tenido en cuenta que existe este sobrecosto, y se ha deducido del que se obtiene por la eliminación de las estaciones.

La supresión de estas estaciones supone un ahorro estimado en costo directo de:

- EST-1. Supresión de Estación de Casablanca: -\$121.074.643.907 (antes de AIU)
- EST-6 A. Supresión de Estación de Marly: -\$75.306.186.217 (antes de AIU)

La estimación económica del ahorro por la aplicación de esta idea (para EST-6) se vería modificada si se aplicara simultáneamente la TUN-1 Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85, que se analizará en el punto 4.8. En tal caso, la estimación económica del ahorro correspondería a:

- EST-6 B. Supresión de Estación de Marly-\$110.930.422.326 (antes de AIU)

El desglose de estas estimaciones de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

Aclarar que los ahorros indicados no incluyen el costo de los predios asociados a cada una de estas estaciones, que se trataría en realidad de una disminución de los gastos del Distrito en el supuesto de no adquisición de los mismos. Se ha realizado una estimación del costo de los predios asociados a cada una de las estaciones:

- Predios asociados a la Estación de Casablanca (EST-1): -\$22.508.754.099
- Predios asociados a la Estación de Marly (EST-6 A): -\$23.824.560.468

La supresión de estas estaciones permite una optimización del trazado que se traduce en una reducción del material móvil necesario para la PLMB. El ahorro estimado para esta situación corresponde a la idea VIA-1 A indicada en el punto 4.1.

4.4. EST-7. Ajuste de anchura de andenes en estaciones

En este punto se analiza la propuesta EST-7 del informe de la Ingeniería de Valor, en la cual se propone una reducción de la anchura de los andenes de determinadas estaciones hasta los 3 m. El diseño inicial del Consorcio L1 propone una anchura de andenes, en disposición lateral, de 4,50 m de acuerdo con lo indicado en los Términos de Referencia del Contrato.

Para la determinación de la anchura de los andenes se ha procedido a calcular el Nivel de Servicio de cada andén de cada una de las estaciones de la línea para las dos Hipótesis de Demanda planteadas en el Estudio Operacional (202006-DF-PR19-DOC-03-VF) de fecha Abril 2015.

Se va a realizar el cálculo del Nivel de Servicio para los siguientes modos de Operación:

- Modo Normal: 100 % circulaciones programadas.
- Modo Degradado 1: 50 % circulaciones programadas.
- Modo Degradado 2: 25 % circulaciones programadas.

Metodología para la determinación del Nivel de Servicio:

Un dato inicial imprescindible para el cálculo del Nivel de Servicio es la “superficie útil pisable de espera” para los viajeros en los andenes. En esta superficie no están incluidas las zonas de acceso a las escaleras rodantes o fijas desde el andén.

Realizado el cálculo, las superficies útiles pisables de espera para cada andén de las estaciones de la línea son:

	ANDÉN 1 (m²)	ANDÉN 2 (m²)
Portal de las Américas	630	630
Villavicencio	630	630
Palenque	630	630
Kennedy	630	630
Boyacá	630	630

	ANDÉN 1 (m²)	ANDÉN 2 (m²)
1º de Mayo	630	630
Avenida 68	705	705
Rosario	630	630
NQS	630	630
Santander	595	595
Nariño	595	595
Hortúa	595	595
San Victorino	595	595
Lima	595	595
La Rebeca	595	595
P. Nacional	595	595
Gran Colombia	595	595
Sto Tomás	595	595
Pza Lourdes	630	630
Av. Chile	595	595
Calle 85	595	595
Parque 93	595	595
Calle 100	595	595
Usaquén	630	630
Calle 127	1347	1347

El cálculo del Nivel de Servicio se realiza para la demanda Normal y Demanda Optimista del documento 202006-DF-PR19-DOC-03-VF en el escenario del año 2050 y una frecuencia en Hora Pico de 90 segundos.

Partiendo de la demanda en hora punta de la mañana del año 2050, con los datos de subidos/bajados por estación, se ha procedido a cuantificar el número de viajeros que ocuparán el andén cuando pasa una circulación.

El número de viajeros que ocupan andén es la suma de los subidos y bajados en el sentido 1 o en el sentido 2. Este flujo de viajeros subidos/bajados por cada andén se mezcla cuando un tren para en dicho andén. Se adopta la hipótesis de que los viajeros en el andén se distribuyen de forma homogénea a lo largo de la hora pico en las 40 circulaciones por sentido que se programan en el año 2050.

Dividiendo dicha suma entre el número de circulaciones se obtiene el número de viajeros que ocupan andén.

El nivel de Servicio se obtiene dividiendo la “superficie útil” entre los viajeros que confluyen con cada circulación de la línea.

Los niveles de Servicio se cuantifican mediante letras que van de la A hasta la F. Los ratios de superficie peatonal / viajero utilizados para este informe se muestran en la siguiente tabla:

Nivel de Servicio	m ² / pax
A	≥ 1.2
B	0.9 – 1.2
C	0.7 – 0.9
D	0.3 – 0.7
E	0.2 – 0.3
F	< 0.2

En las siguientes tablas resumen se muestran los Niveles de Servicio para los tres modos de operación analizados, en las dos hipótesis de demanda planteadas en el estudio de referencia, con andén de 4,5 m de anchura y 150 m de longitud.

HIPÓTESIS DE DEMANDA NORMAL. AÑO 2050 PLMB.																				
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 100% CIRC.		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (100% CIRC.)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 50% CIRC		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (50% CIRC.)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 25% CIRC.		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (25% CIRC.)	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	171	70	3.68	9.03	A	A	342	140	1.84	4.52	A	A	684	279	0.92	2.26	B	A
Villavicencio	630	630	224	52	2.81	12.12	A	A	448	104	1.41	6.06	A	A	896	208	0.70	3.03	C	A
Palenque	630	630	154	5	4.10	120.00	A	A	308	11	2.05	60.00	A	A	615	21	1.02	30.00	B	A
Kennedy	630	630	92	76	6.83	8.34	A	A	185	151	3.41	4.17	A	A	369	302	1.71	2.09	A	A
Boyacá	630	630	229	162	2.75	3.90	A	A	458	323	1.38	1.95	A	A	916	646	0.69	0.98	D	B
1º de Mayo	630	630	13	12	49.41	53.62	A	A	26	24	24.71	26.81	A	A	51	47	12.35	13.40	A	A
Avenida 68	705	705	521	186	1.35	3.80	A	A	1 042	371	0.68	1.90	D	A	2 083	742	0.34	0.95	D	B
Rosario	630	630	124	59	5.10	10.68	A	A	247	118	2.55	5.34	A	A	494	236	1.28	2.67	A	A
NQS	630	630	207	188	3.04	3.35	A	A	415	377	1.52	1.67	A	A	829	753	0.76	0.84	C	C
Santander	595	595	325	111	1.83	5.35	A	A	651	223	0.91	2.67	B	A	1 301	445	0.46	1.34	D	A
Nariño	595	595	122	95	4.88	6.30	A	A	244	189	2.44	3.15	A	A	488	378	1.22	1.57	A	A
Hortúa	595	595	316	242	1.88	2.46	A	A	633	484	0.94	1.23	B	A	1 265	967	0.47	0.62	D	D
San Victorino	595	595	281	170	2.12	3.51	A	A	561	340	1.06	1.75	B	A	1 122	679	0.53	0.88	D	C
Lima	595	595	192	131	3.11	4.56	A	A	383	261	1.55	2.28	A	A	766	522	0.78	1.14	C	B
La Rebeca	595	595	225	150	2.65	3.98	A	A	450	299	1.32	1.99	A	A	899	598	0.66	0.99	D	B
P. Nacional	595	595	183	104	3.25	5.71	A	A	366	209	1.63	2.85	A	A	732	417	0.81	1.43	C	A
Gran Colombia	595	595	115	43	5.16	13.76	A	A	231	87	2.58	6.88	A	A	461	173	1.29	3.44	A	A
Sto Tomás	595	595	159	74	3.75	8.10	A	A	317	147	1.88	4.05	A	A	634	294	0.94	2.02	B	A
Pza Lourdes	630	630	96	37	6.56	17.14	A	A	192	74	3.28	8.57	A	A	384	147	1.64	4.29	A	A
Av. Chile	595	595	474	190	1.26	3.14	A	A	948	379	0.63	1.57	D	A	1 896	758	0.31	0.78	D	C
Calle 85	595	595	255	142	2.34	4.19	A	A	509	284	1.17	2.10	B	A	1 018	568	0.58	1.05	D	B
Parque 93	595	595	186	85	3.20	7.02	A	A	372	170	1.60	3.51	A	A	744	339	0.80	1.76	C	A
Calle 100	595	595	223	111	2.67	5.38	A	A	446	221	1.34	2.69	A	A	891	442	0.67	1.35	D	A
Usaquén	630	630	33	33	19.09	18.95	A	A	66	67	9.55	9.47	A	A	132	133	4.77	4.74	A	A
Calle 127	1347	1347	329	512	4.10	2.63	A	A	657	1 024	2.05	1.32	A	A	1 314	2 047	1.03	0.66	B	D

HIPÓTESIS DE DEMANDA OPTIMISTA AÑO 2050 PLMB.																				
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 100% CIRC.		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (100% CIRC.)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 50% CIRC		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (50% CIRC.)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. 25% CIRC.		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO (25% CIRC.)	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	193	79	3.27	8.02	A	A	385	157	1.63	4.01	A	A	771	314	0.82	2.00	C	A
Villavicencio	630	630	252	59	2.50	10.75	A	A	505	117	1.25	5.38	A	A	1 010	234	0.62	2.69	D	A
Palenque	630	630	173	6	3.64	106.50	A	A	346	12	1.82	53.25	A	A	693	24	0.91	26.62	B	A
Kennedy	630	630	104	85	6.06	7.41	A	A	208	170	3.03	3.70	A	A	416	340	1.52	1.85	A	A
Boyacá	630	630	258	182	2.44	3.46	A	A	516	364	1.22	1.73	A	A	1 032	728	0.61	0.87	D	C
1º de Mayo	630	630	14	13	43.85	47.58	A	A	29	26	21.93	23.79	A	A	57	53	10.96	11.90	A	A
Avenida 68	705	705	587	209	1.20	3.37	A	A	1 174	418	0.60	1.69	D	A	2 347	836	0.30	0.84	D	C
Rosario	630	630	139	66	4.53	9.48	A	A	278	133	2.26	4.74	A	A	557	266	1.13	2.37	B	A
NQS	630	630	234	212	2.70	2.97	A	A	467	424	1.35	1.49	A	A	934	848	0.67	0.74	D	C
Santander	595	595	366	125	1.62	4.75	A	A	733	251	0.81	2.37	C	A	1 466	501	0.41	1.19	D	B
Nariño	595	595	137	106	4.33	5.59	A	A	275	213	2.16	2.79	A	A	550	426	1.08	1.40	B	A
Hortúa	595	595	356	272	1.67	2.18	A	A	713	545	0.83	1.09	C	B	1 425	1 090	0.42	0.55	D	D
San Victorino	595	595	316	191	1.88	3.11	A	A	632	383	0.94	1.56	B	A	1 264	765	0.47	0.78	D	C
Lima	595	595	216	147	2.76	4.05	A	A	432	294	1.38	2.02	A	A	863	588	0.69	1.01	D	B
La Rebeca	595	595	253	168	2.35	3.53	A	A	506	337	1.17	1.77	B	A	1 013	674	0.59	0.88	D	C
P. Nacional	595	595	206	117	2.89	5.07	A	A	412	235	1.44	2.53	A	A	825	470	0.69	1.27	D	A
Gran Colombia	595	595	130	49	4.58	12.21	A	A	260	97	2.29	6.10	A	A	519	195	1.15	3.05	B	A
Sto Tomás	595	595	179	83	3.33	7.18	A	A	357	166	1.67	3.59	A	A	714	331	0.83	1.80	C	A
Pza Lourdes	630	630	108	41	5.82	15.21	A	A	216	83	2.91	7.61	A	A	433	166	1.46	3.80	A	A
Av. Chile	595	595	534	214	1.11	2.79	B	A	1 068	427	0.56	1.39	D	A	2 136	854	0.28	0.70	E	D
Calle 85	595	595	287	160	2.07	3.72	A	A	574	320	1.04	1.86	B	A	1 147	640	0.52	0.93	D	B
Parque 93	595	595	210	95	2.84	6.23	A	A	419	191	1.42	3.12	A	A	838	382	0.71	1.56	C	A
Calle 100	595	595	251	125	2.37	4.78	A	A	502	249	1.19	2.39	B	A	1 004	498	0.59	1.19	D	B
Usaquén	630	630	37	37	16.94	16.82	A	A	74	75	8.47	8.41	A	A	149	150	4.24	4.20	A	A
Calle 127	1347	1347	370	577	3.64	2.34	A	A	740	1 153	1.82	1.17	A	B	1 481	2 307	0.91	0.58	B	D

Explotación en Bucles.

Este modo de operación se propone para la operación de la línea cuando la frecuencia de paso sea superior a los 3 minutos. Habría un bucle corto entre las estaciones de Avenida 1º de Mayo y Calle 127, con una frecuencia de 3 minutos y un bucle largo entre Portal de las Américas y Calle 127 cada 6 minutos.

Haciendo los cálculos al igual que en los anteriores casos y dividiendo entre el número de circulaciones de cada bucle, se obtiene que en el modo de explotación en bucles en horas no punta, este modo de operación no satura los andenes.

HIPÓTESIS DE DEMANDA NORMAL. AÑO 2050 PLMB.								
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. EXPL BUCLE		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO. EXPL BUCLE	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	376	153	1.67	4.11	A	A
Villavicencio	630	630	493	114	1.28	5.51	A	A
Palenque	630	630	338	12	1.86	54.55	A	A
Kennedy	630	630	203	166	3.10	3.79	A	A
Boyacá	630	630	504	355	1.25	1.77	A	A
1º de Mayo	630	630	14	13	44.92	48.74	A	A
Avenida 68	705	705	573	204	1.23	3.46	A	A
Rosario	630	630	136	65	4.64	9.71	A	A
NQS	630	630	228	207	2.76	3.04	A	A
Santander	595	595	358	122	1.66	4.86	A	A
Nariño	595	595	134	104	4.43	5.72	A	A
Hortúa	595	595	348	266	1.71	2.24	A	A
San Victorino	595	595	309	187	1.93	3.19	A	A
Lima	595	595	211	144	2.82	4.14	A	A
La Rebeca	595	595	247	164	2.41	3.62	A	A
P. Nacional	595	595	201	115	2.96	5.19	A	A
Gran Colombia	595	595	127	48	4.69	12.51	A	A
Sto Tomás	595	595	174	81	3.41	7.36	A	A
Pza Lourdes	630	630	106	40	5.97	15.58	A	A
Av. Chile	595	595	521	208	1.14	2.85	B	A
Calle 85	595	595	280	156	2.13	3.81	A	A
Parque 93	595	595	205	93	2.91	6.38	A	A
Calle 100	595	595	245	122	2.43	4.90	A	A
Usaquén	630	630	36	37	17.36	17.22	A	A
Calle 127	1347	1347	361	563	3.73	2.39	A	A

HIPÓTESIS DE DEMANDA OPTIMISTA AÑO 2050 PLMB.								
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. EXPL BUCLE		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO. EXPL BUCLE	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	424	173	1.49	3.64	A	A
Villavicencio	630	630	555	129	1.13	4.89	B	A
Palenque	630	630	381	13	1.65	48.41	A	A
Kennedy	630	630	229	187	2.75	3.37	A	A
Boyacá	630	630	568	400	1.11	1.57	B	A
1º de Mayo	630	630	16	15	39.86	43.26	A	A
Avenida 68	705	705	645	230	1.09	3.07	B	A
Rosario	630	630	153	73	4.12	8.61	A	A
NQS	630	630	257	233	2.45	2.70	A	A
Santander	595	595	403	138	1.48	4.31	A	A
Nariño	595	595	151	117	3.93	5.08	A	A
Hortúa	595	595	392	300	1.52	1.99	A	A
San Victorino	595	595	348	210	1.71	2.83	A	A
Lima	595	595	237	162	2.51	3.68	A	A
La Rebeca	595	595	279	185	2.14	3.21	A	A
P. Nacional	595	595	227	129	2.62	4.60	A	A
Gran Colombia	595	595	143	54	4.17	11.10	A	A
Sto Tomás	595	595	196	91	3.03	6.53	A	A
Pza Lourdes	630	630	119	46	5.29	13.83	A	A
Av. Chile	595	595	588	235	1.01	2.53	B	A
Calle 85	595	595	315	176	1.89	3.38	A	A
Parque 93	595	595	231	105	2.58	5.66	A	A
Calle 100	595	595	276	137	2.16	4.34	A	A
Usaquén	630	630	41	41	15.40	15.29	A	A
Calle 127	1347	1347	407	634	3.31	2.12	A	A

Explotación en Bucles Independientes. Modo Degradado

Como análisis final se ha procedido a realizar los cálculos del nivel de servicio en los modos degradados de operación en los cuales la línea se divide en dos bucles independientes debido a una incidencia en un sector de la línea. Se denomina sector al tramo comprendido entre estaciones protegidas con bretelles. El modo de operación sería el de dos bucles independientes, en el cual los viajeros del final de un bucle se trasladan mediante autobuses o a pie hasta la estación cabecera del siguiente bucle continuando su viaje en el caso de que su estación de destino sea posterior a la de la incidencia.

Se ha realizado el análisis en los siguientes sectores y para las dos hipótesis de demanda:

- SECTOR 1: PORTAL AMÉRICA – PALENQUE
- SECTOR 2: PALENQUE - 1º MAYO
- SECTOR 3: 1º MAYO – ROSARIO
- SECTOR 5: NQS – NARIÑO
- SECTOR 9: GRAN COLOMBIA – SANTO TOMÁS.

HIPÓTESIS DE DEMANDA NORMAL. AÑO 2050 PLMB. MODO DEGRADADO POR SECTORES.																				
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 1: Portal America - Palenque		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 2: Palenque - 1º MAYO		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 3: 1º MAYO - ROSARIO		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630							228	93	2.76	6.77	A	A	228	93	2.76	6.77	A	A
Villavicencio	630	630							299	69	2.11	9.09	A	A	299	69	2.11	9.09	A	A
Palenque	630	630	859	160	0.73	3.94	C	A	653	138	0.96	4.57	B	A	205	7	3.07	90.00	A	A
Kennedy	630	630	123	101	5.12	6.26	A	A							123	101	5.12	6.26	A	A
Boyacá	630	630	305	215	2.06	2.93	A	A							305	215	2.06	2.93	A	A
1º de Mayo	630	630	17	16	37.06	40.21	A	A	1 043	357	0.60	1.76	D	A	1 077	288	0.58	2.19	D	A
Avenida 68	705	705	694	247	1.02	2.85	B	A	694	247	1.02	2.85	B	A						
Rosario	630	630	165	79	3.83	8.01	A	A	165	79	3.83	8.01	A	A	1 740	564	0.36	1.12	D	B
NQS	630	630	276	251	2.28	2.51	A	A	276	251	2.28	2.51	A	A	276	251	2.28	2.51	A	A
Santander	595	595	434	148	1.37	4.01	A	A	434	148	1.37	4.01	A	A	434	148	1.37	4.01	A	A
Nariño	595	595	163	126	3.66	4.72	A	A	163	126	3.66	4.72	A	A	163	126	3.66	4.72	A	A
Hortúa	595	595	422	322	1.41	1.85	A	A	422	322	1.41	1.85	A	A	422	322	1.41	1.85	A	A
San Victorino	595	595	374	226	1.59	2.63	A	A	374	226	1.59	2.63	A	A	374	226	1.59	2.63	A	A
Lima	595	595	255	174	2.33	3.42	A	A	255	174	2.33	3.42	A	A	255	174	2.33	3.42	A	A
La Rebeca	595	595	300	199	1.99	2.98	A	A	300	199	1.99	2.98	A	A	300	199	1.99	2.98	A	A
P. Nacional	595	595	244	139	2.44	4.28	A	A	244	139	2.44	4.28	A	A	244	139	2.44	4.28	A	A
Gran Colombia	595	595	154	58	3.87	10.32	A	A	154	58	3.87	10.32	A	A	154	58	3.87	10.32	A	A
Sto Tomás	595	595	211	98	2.82	6.07	A	A	211	98	2.82	6.07	A	A	211	98	2.82	6.07	A	A
Pza Lourdes	630	630	128	49	4.92	12.86	A	A	128	49	4.92	12.86	A	A	128	49	4.92	12.86	A	A
Av. Chile	595	595	632	253	0.94	2.35	B	A	632	253	0.94	2.35	B	A	632	253	0.94	2.35	B	A
Calle 85	595	595	339	189	1.75	3.14	A	A	339	189	1.75	3.14	A	A	339	189	1.75	3.14	A	A
Parque 93	595	595	248	113	2.40	5.27	A	A	248	113	2.40	5.27	A	A	248	113	2.40	5.27	A	A
Calle 100	595	595	297	147	2.00	4.04	A	A	297	147	2.00	4.04	A	A	297	147	2.00	4.04	A	A
Usaquén	630	630	44	44	14.32	14.21	A	A	44	44	14.32	14.21	A	A	44	44	14.32	14.21	A	A
Calle 127	1347	1347	438	682	3.08	1.97	A	A	438	682	3.08	1.97	A	A	438	682	3.08	1.97	A	A

HIPÓTESIS DE DEMANDA OPTIMISTA AÑO 2050 PLMB. MODO DEGRADADO POR SECTORES.																				
ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 1: Portal America - Palenque		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 2: Palenque - 1º MAYO		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 3: 1º MAYO - ROSARIO		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630							257	105	2.45	6.01	A	A	257	105	2.45	6.01	A	A
Villavicencio	630	630							337	78	1.87	8.06	A	A	337	78	1.87	8.06	A	A
Palenque	630	630	968	180	0.65	3.49	D	A	736	155	0.86	4.05	C	A	231	8	2.73	79.87	A	A
Kennedy	630	630	139	113	4.55	5.55	A	A							139	113	4.55	5.55	A	A
Boyacá	630	630	344	243	1.83	2.60	A	A							344	243	1.83	2.60	A	A
1º de Mayo	630	630	19	18	32.89	35.69	A	A	1 176	402	0.54	1.57	D	A	1 214	324	0.52	1.94	D	A
Avenida 68	705	705	782	279	0.90	2.53	B	A	782	279	0.90	2.53	B	A						
Rosario	630	630	186	89	3.40	7.11	A	A	186	89	3.40	7.11	A	A	1 961	635	0.32	0.99	D	B
NQS	630	630	311	283	2.02	2.23	A	A	311	283	2.02	2.23	A	A	311	283	2.02	2.23	A	A
Santander	595	595	489	167	1.22	3.56	A	A	489	167	1.22	3.56	A	A	489	167	1.22	3.56	A	A
Nariño	595	595	183	142	3.25	4.19	A	A	183	142	3.25	4.19	A	A	183	142	3.25	4.19	A	A
Hortúa	595	595	475	363	1.25	1.64	A	A	475	363	1.25	1.64	A	A	475	363	1.25	1.64	A	A
San Victorino	595	595	421	255	1.41	2.33	A	A	421	255	1.41	2.33	A	A	421	255	1.41	2.33	A	A
Lima	595	595	288	196	2.07	3.03	A	A	288	196	2.07	3.03	A	A	288	196	2.07	3.03	A	A
La Rebeca	595	595	338	225	1.76	2.65	A	A	338	225	1.76	2.65	A	A	338	225	1.76	2.65	A	A
P. Nacional	595	595	275	157	2.16	3.80	A	A	275	157	2.16	3.80	A	A	275	157	2.16	3.80	A	A
Gran Colombia	595	595	173	65	3.44	9.16	A	A	173	65	3.44	9.16	A	A	173	65	3.44	9.16	A	A
Sto Tomás	595	595	238	110	2.50	5.39	A	A	238	110	2.50	5.39	A	A	238	110	2.50	5.39	A	A
Pza Lourdes	630	630	144	55	4.37	11.41	A	A	144	55	4.37	11.41	A	A	144	55	4.37	11.41	A	A
Av. Chile	595	595	712	285	0.84	2.09	C	A	712	285	0.84	2.09	C	A	712	285	0.84	2.09	C	A
Calle 85	595	595	382	213	1.56	2.79	A	A	382	213	1.56	2.79	A	A	382	213	1.56	2.79	A	A
Parque 93	595	595	279	127	2.13	4.67	A	A	279	127	2.13	4.67	A	A	279	127	2.13	4.67	A	A
Calle 100	595	595	335	166	1.78	3.58	A	A	335	166	1.78	3.58	A	A	335	166	1.78	3.58	A	A
Usaquén	630	630	50	50	12.71	12.61	A	A	50	50	12.71	12.61	A	A	50	50	12.71	12.61	A	A
Calle 127	1347	1347	494	769	2.73	1.75	A	A	494	769	2.73	1.75	A	A	494	769	2.73	1.75	A	A

HIPÓTESIS DE DEMANDA NORMAL. AÑO 2050 PLMB. MODO DEGRADADO POR SECTORES.

ESTACIÓN	ÁREA (m ²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 5: NQS - NARIÑO		m ² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 9: GRAN COLOMBIA - SANTO TOMÁS		m ² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	228	93	2.76	6.77	A	A	228	93	2.76	6.77	A	A
Villavicencio	630	630	299	69	2.11	9.09	A	A	299	69	2.11	9.09	A	A
Palenque	630	630	205	7	3.07	90.00	A	A	205	7	3.07	90.00	A	A
Kennedy	630	630	123	101	5.12	6.26	A	A	123	101	5.12	6.26	A	A
Boyacá	630	630	305	215	2.06	2.93	A	A	305	215	2.06	2.93	A	A
1°de Mayo	630	630	17	16	37.06	40.21	A	A	17	16	37.06	40.21	A	A
Avenida 68	705	705	694	247	1.02	2.85	B	A	694	247	1.02	2.85	B	A
Rosario	630	630	165	79	3.83	8.01	A	A	165	79	3.83	8.01	A	A
NQS	630	630	1 709	401	0.37	1.57	D	A	276	251	2.28	2.51	A	A
Santander	595	595							434	148	1.37	4.01	A	A
Nariño	595	595	2 011	625	0.30	0.95	E	B	163	126	3.66	4.72	A	A
Hortúa	595	595	422	322	1.41	1.85	A	A	422	322	1.41	1.85	A	A
San Victorino	595	595	374	226	1.59	2.63	A	A	374	226	1.59	2.63	A	A
Lima	595	595	255	174	2.33	3.42	A	A	255	174	2.33	3.42	A	A
La Rebeca	595	595	300	199	1.99	2.98	A	A	300	199	1.99	2.98	A	A
P. Nacional	595	595	244	139	2.44	4.28	A	A	244	139	2.44	4.28	A	A
Gran Colombia	595	595	154	58	3.87	10.32	A	A	2 161	1 009	0.28	0.59	E	D
Sto Tomás	595	595	211	98	2.82	6.07	A	A	1 878	973	0.32	0.61	D	D
Pza Lourdes	630	630	128	49	4.92	12.86	A	A	128	49	4.92	12.86	A	A
Av. Chile	595	595	632	253	0.94	2.35	B	A	632	253	0.94	2.35	B	A
Calle 85	595	595	339	189	1.75	3.14	A	A	339	189	1.75	3.14	A	A
Parque 93	595	595	248	113	2.40	5.27	A	A	248	113	2.40	5.27	A	A
Calle 100	595	595	297	147	2.00	4.04	A	A	297	147	2.00	4.04	A	A
Usaquén	630	630	44	44	14.32	14.21	A	A	44	44	14.32	14.21	A	A
Calle 127	1347	1347	438	682	3.08	1.97	A	A	438	682	3.08	1.97	A	A

HIPÓTESIS DE DEMANDA OPTIMISTA AÑO 2050 PLMB. MODO DEGRADADO POR SECTORES.

ESTACIÓN	ÁREA (m²)		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 5: NQS - NARIÑO		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.		OCUPANTES POR FRECUENCIA. SECTOR 9: GRAN COLOMBIA - SANTO TOMÁS		m² / PAX		NIVEL DE SERVICIO.	
	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2	ANDÉN 1	ANDÉN 2
Portal de las Américas	630	630	257	105	2.45	6.01	A	A	257	105	2.45	6.01	A	A
Villavicencio	630	630	337	78	1.87	8.06	A	A	337	78	1.87	8.06	A	A
Palenque	630	630	231	8	2.73	79.87	A	A	231	8	2.73	79.87	A	A
Kennedy	630	630	139	113	4.55	5.55	A	A	139	113	4.55	5.55	A	A
Boyacá	630	630	344	243	1.83	2.60	A	A	344	243	1.83	2.60	A	A
1º de Mayo	630	630	19	18	32.89	35.69	A	A	19	18	32.89	35.69	A	A
Avenida 68	705	705	782	279	0.90	2.53	B	A	782	279	0.90	2.53	B	A
Rosario	630	630	186	89	3.40	7.11	A	A	186	89	3.40	7.11	A	A
NQS	630	630	1 926	451	0.33	1.40	D	A	311	283	2.02	2.23	A	A
Santander	595	595							489	167	1.22	3.56	A	A
Nariño	595	595	2 266	704	0.26	0.85	E	C	183	142	3.25	4.19	A	A
Hortúa	595	595	475	363	1.25	1.64	A	A	475	363	1.25	1.64	A	A
San Victorino	595	595	421	255	1.41	2.33	A	A	421	255	1.41	2.33	A	A
Lima	595	595	288	196	2.07	3.03	A	A	288	196	2.07	3.03	A	A
La Rebeca	595	595	338	225	1.76	2.65	A	A	338	225	1.76	2.65	A	A
P. Nacional	595	595	275	157	2.16	3.80	A	A	275	157	2.16	3.80	A	A
Gran Colombia	595	595	173	65	3.44	9.16	A	A	2 435	1 137	0.24	0.52	E	D
Sto Tomás	595	595	238	110	2.50	5.39	A	A	2 116	1 096	0.28	0.54	E	D
Pza Lourdes	630	630	144	55	4.37	11.41	A	A	144	55	4.37	11.41	A	A
Av. Chile	595	595	712	285	0.84	2.09	C	A	712	285	0.84	2.09	C	A
Calle 85	595	595	382	213	1.56	2.79	A	A	382	213	1.56	2.79	A	A
Parque 93	595	595	279	127	2.13	4.67	A	A	279	127	2.13	4.67	A	A
Calle 100	595	595	335	166	1.78	3.58	A	A	335	166	1.78	3.58	A	A
Usaquén	630	630	50	50	12.71	12.61	A	A	50	50	12.71	12.61	A	A
Calle 127	1347	1347	494	769	2.73	1.75	A	A	494	769	2.73	1.75	A	A

Se observa que en modo de operación degradado con operación en bucles independientes, las cabeceras intermedias de los bucles, o cabeceras “provisionales” de los bucles tienen un índice de ocupación que hacen necesario una anchura de 4,50 m.

En la siguiente tabla resumen se muestran en cuál de los modos de operación analizados el índice de confort es superior al nivel C un andén de 4,5 m de anchura y 150 m de longitud propuestos.

ESTACIÓN	NIVEL DE SERVICIO	ESCENARIO
Portal de las Américas	C	DEGR. 25% DEM. OPTIMISTA.
Villavicencio	D	DEGR. 25% DEM. OPTIMISTA.
Palenque	D	DEGR. SECTOR 1. DEM. OPTIMISTA.
Kennedy	A	
Boyacá	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
1º de Mayo	D	DEGR. SECTOR 2. DEM. NORMAL.
Avenida 68	D	DEGR. 50%. DEM. NORMAL.
Rosario	D	DEGR. SECTOR 3. DEM. NORMAL.
NQS	D	DEGR. 25% DEM. OPTIMISTA.
Santander	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
Nariño	E	DEGR. SECTOR 5. DEM. NORMAL.
Hortúa	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
San Victorino	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
Lima	D	DEGR. 25% DEM. OPTIMISTA.
La Rebeca	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
P. Nacional	D	DEGR. 25% DEM. OPTIMISTA.
Gran Colombia	E	DEGR. SECTOR 9. DEM. NORMAL.
Sto Tomás	D	DEGR. SECTOR 9. DEM. NORMAL.
Pza Lourdes	A	
Av. Chile	D	DEGR. 50%. DEM. NORMAL.
Calle 85	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
Parque 93	C	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
Calle 100	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.
Usaquén	A	
Calle 127	D	DEGR. 25% DEM. NORMAL.

Conclusiones

A la vista de los resultados de las tablas anteriores únicamente se podría considerar la reducción del ancho de andén en Usaquén, Lourdes y Kennedy.

No obstante hay que tener en cuenta que la estación de Usaquén en un futuro podría tener un aumento de carga de viajeros debido al transbordo de otros modos de transporte por lo que no se recomienda la disminución de la anchura de los andenes de dicha estación, y en el caso de Kennedy y Plaza de Lourdes la reducción del ancho de anden impediría la realización de planes de desarrollo urbano que incrementaran sustancialmente la demanda en esas Estaciones.

Las estaciones de Portal de las Américas y Parque 93, que tienen un nivel C en modo degradado 25% no se recomienda la disminución de la anchura del andén debido a que el valor obtenido en dicho modo está muy próximo al nivel D.

En los talleres de trabajo, Metro de Medellín desechó rotundamente esta opción.

A título de ejemplo la Línea 9 de Barcelona, tiene andenes mínimos de 4m con una previsión de usuarios muy inferior a la de la PLMB.

Teniendo en cuenta la elevada dinámica urbana de la ciudad de Bogotá y que una línea de Metro tiene una vida real superior a 100 años, se aconseja no reducir el ancho de andén en ningún caso.

4.5. EST-10. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones

Se analiza el ajuste de longitud en cada uno de los tipos de estaciones entre tramos de túnel TBM; en las estaciones de dos niveles la redistribución de cuartos técnicos no es posible al no existir un nivel de prevestíbulo disponible al que desplazar dichos cuartos técnicos.

La siguiente tabla muestra los tipos de estación, el número de vestíbulos y la condición de transferencia de cada una:

	Estación	Tipo de estación	Niveles	Condición de transferencia
1	P. de Las Américas	Tipo 1 tunel	3	Transferencia
2	Casablanca	Tipo 1 tunel	3	Paso
3	Villavicencio	Tipo 1 tunel	3	Paso
4	Palenque	Tipo 1 tunel	3	Paso
5	Kennedy	Tipo 1 tunel	3	Paso
6	Boyacá	Tipo 1 tunel	3	Transferencia
7	1°de Mayo	Tipo 1 tunel	3	Paso
8	Avenida 68	Tipo 1 tunel ESP	3	Especial
9	Rosario	Tipo 1 tunel	3	Paso
10	NQS	Tipo 1 tunel	3	Transferencia
11	Santander	Tipo 2 tunel	3	Paso
12	Nariño	Tipo 2 tunel	3	Paso
13	Hortúa	Tipo 2 tunel	3	Transferencia
14	San Victorino	Tipo 2 tunel	3	Transferencia
15	Lima	Tipo 2 tunel	3	Transferencia
16	La Rebeca	Tipo 2 tunel ESP	3	Especial
17	Parque Nacional	Tipo 2 tunel	3	Paso
18	Gran Colombia	Tipo 3 pantallas	2	Paso
19	Marly	Tipo 3 pantallas	2	Paso
20	Santo Tomás	Tipo 2 pantalla	2	Paso
21	Plaza Lourdes	Tipo 1 pantalla	2	Paso
22	Avenida Chile	Tipo 2 pantalla	2	Paso
23	Calle 85	Tipo 2 pantalla	2	Paso
24	Parque 93	Tipo 2 pantalla	2	Paso
25	Calle 100	Tipo 2 pantalla	2	Paso
26	Usaquén	Tipo 1 pantalla	2	Transferencia
27	Calle 127	Tipo 2 pantalla ESP	3	Especial

Referencia, que obligaban a la ubicación de diversos locales técnicos en planta andén, y que desde el punto de vista de las instalaciones y sistemas redundaba en unos pequeños costos adicionales.

Esta propuesta consiste en mover las salas de comunicaciones auxiliares y la sala de comunicaciones de telefonía móvil de la planta de andén (posición indicada en las Especificaciones Técnicas) a la planta vestíbulo y a la planta prevestíbulo.

Con esta medida, se logra el siguiente ajuste de longitud:

Tipo de estación	Longitud inicial	Longitud reducida	Ajuste de longitud	Ajuste de longitud en %
Tipo 1 túnel	208,2 m	169,2 m	39 m	18,7%

Estaciones en las que es posible aplicar esta medida:

- P. de Las Américas, Casablanca, Villavicencio, Palenque, Kennedy, Boyacá, 1° de Mayo, Rosario*

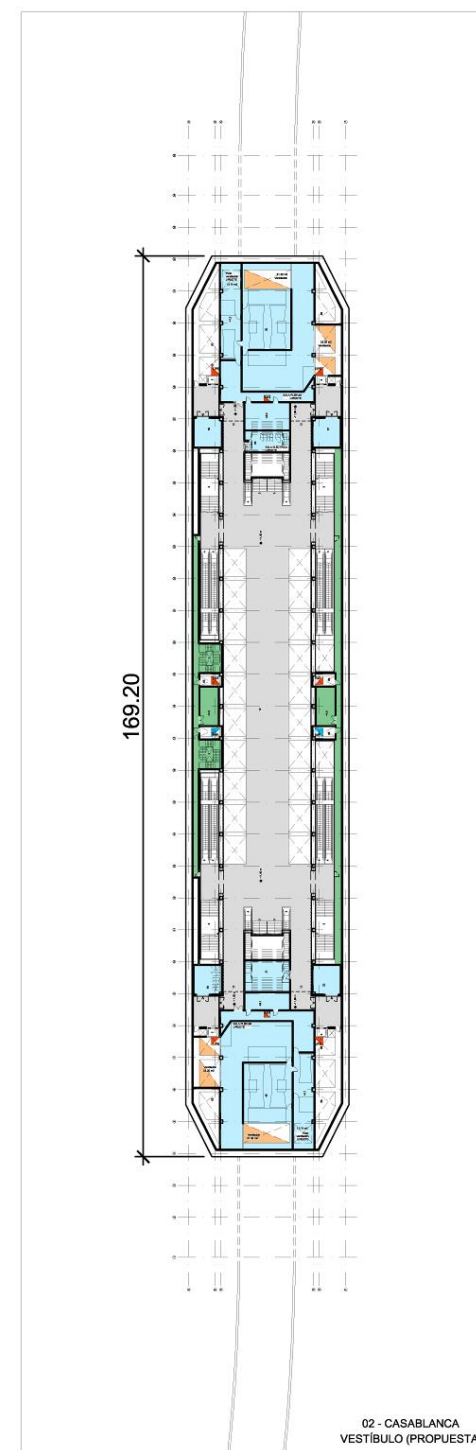
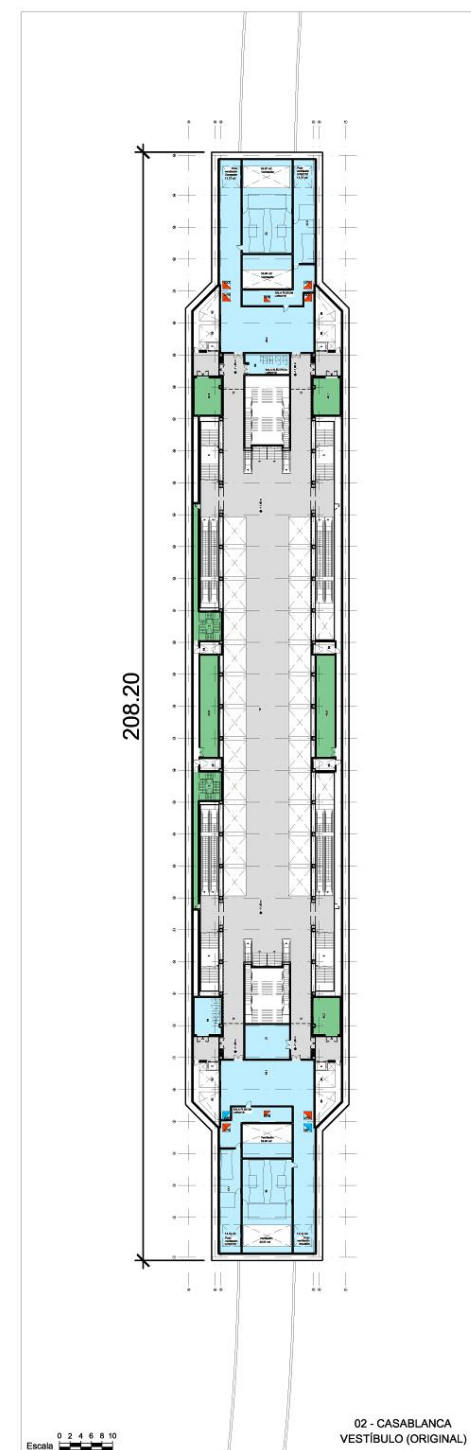
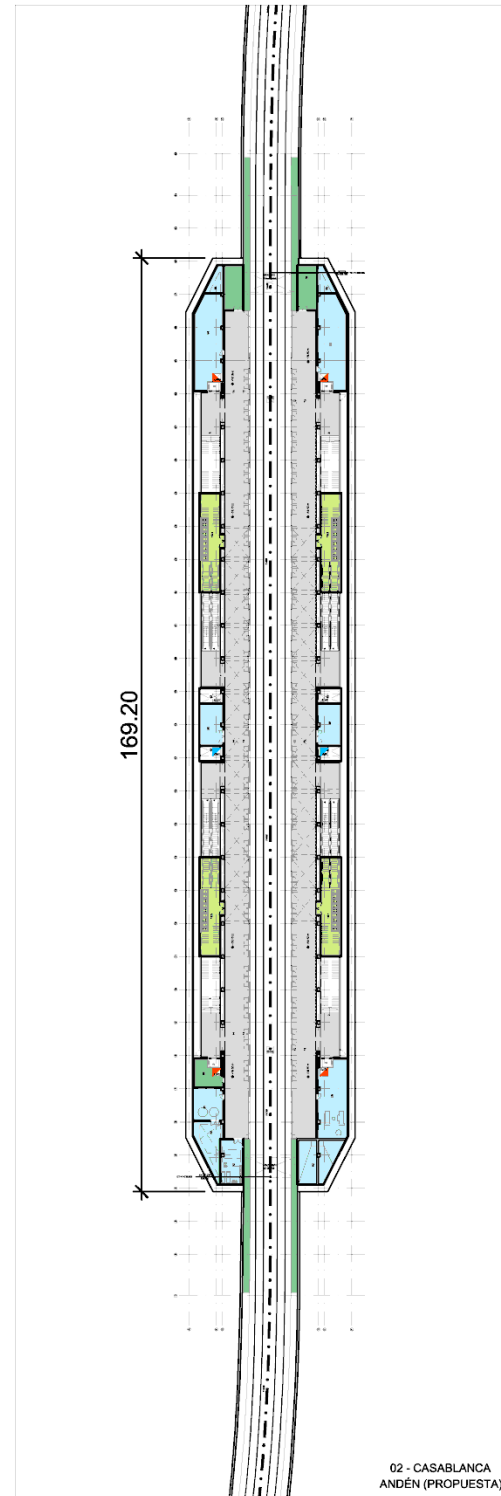
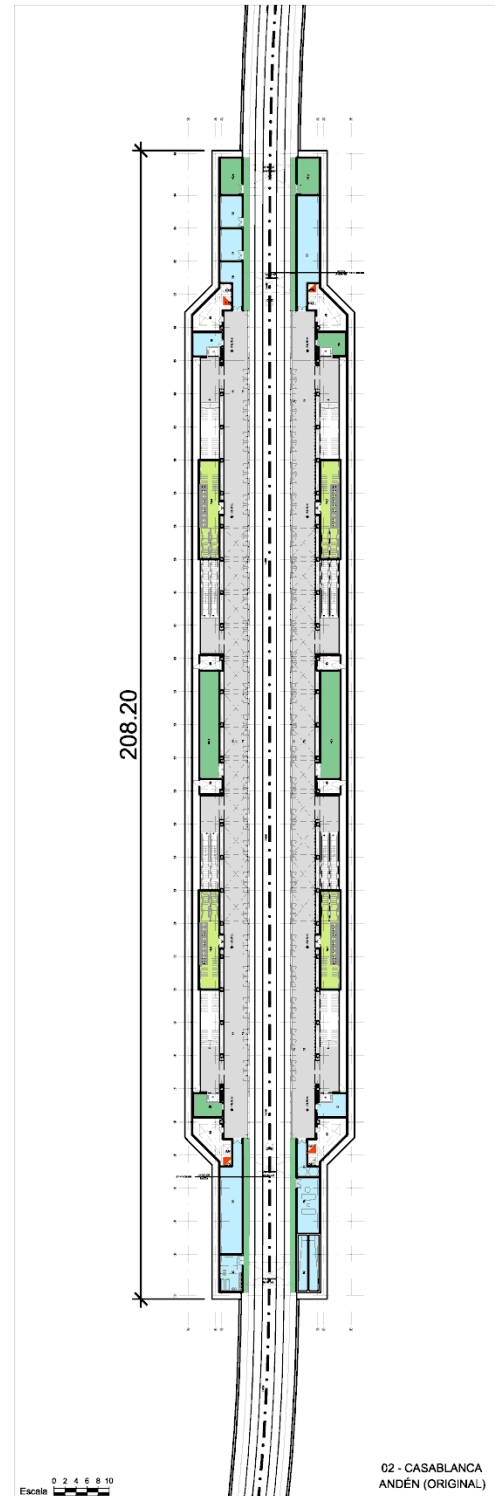
Estaciones en las que por su condición de estación de transferencia puede ser necesario realizar una variante de esta medida:

- Avenida 68.* Se considera viable reducir la longitud de la estación en 2 crujías en cada extremo, resultando un ajuste inicial de longitud de 24 m en lugar de 39 m. En un estudio más detallado se podrá analizar si es posible reducir la parte central y si se pueden simplificar los accesos y el pasillo circular para incrementar el ajuste de longitud en la estación.
- NQS.* El ajuste de longitud en 39 m para esta estación se considera viable pero será un tipo especial dentro de las Tipo 1 túnel, por la presencia en nivel prevestíbulo de una subestación eléctrica y una estación de transferencia con Transmilenio. Es posible que la estación de Transmilenio prevista sobre ella, tenga que ser algo más corta.

- Estación Tipo 1 de 3 niveles, entre tramos de túnel TBM.**

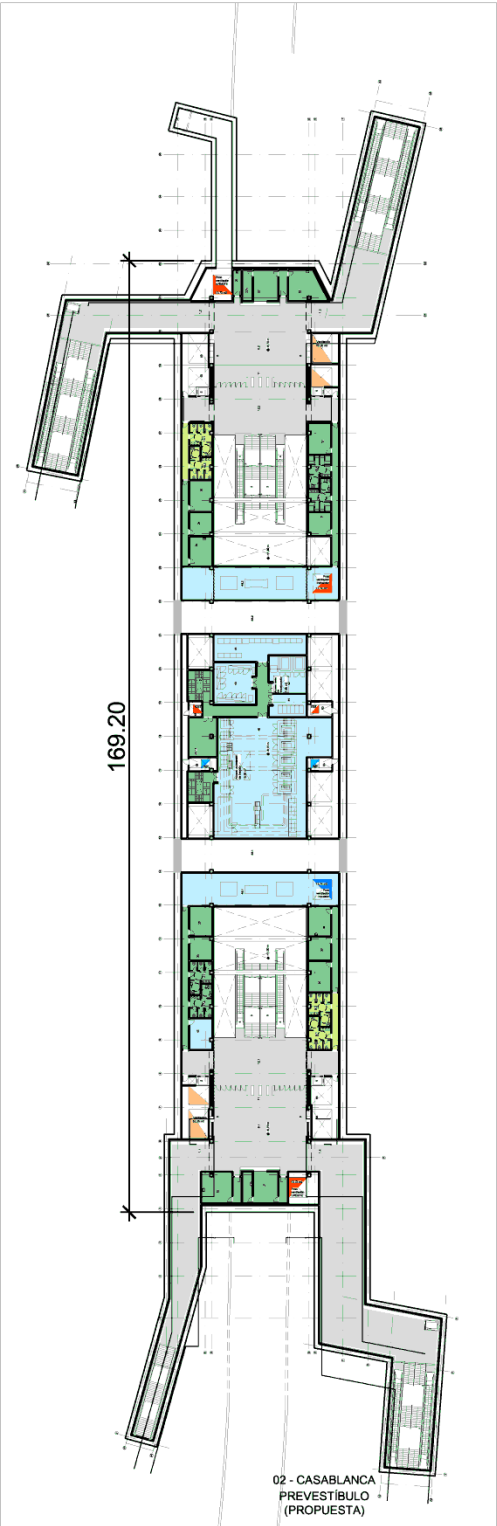
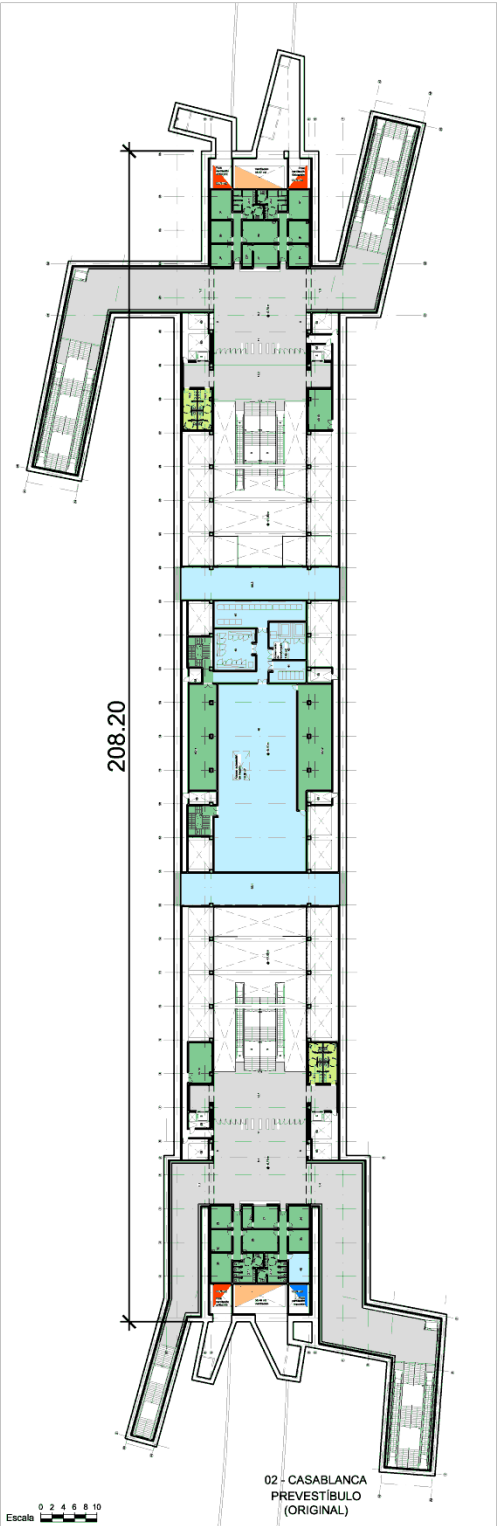
En este tipo de estación es posible la reducción de la longitud **realizando un cambio sobre las indicaciones que figuran en las Especificaciones Técnicas MB-GC-ET-0009 de los Términos de**

Se adjuntan croquis de la estación en longitud original y longitud reducida de cada nivel de la estación.



ESTACIÓN TIPO 1 TÚNEL TBM; NIVEL ANDÉN

ESTACIÓN TIPO 1 TÚNEL TBM; NIVEL VESTÍBULO



• Estación Tipo 2 de 3 niveles, entre tramos de túnel TBM.

También en este caso, para hacer esta reducción de la longitud, se propone un cambio sobre las indicaciones que figuran en las Especificaciones Técnicas MB-GC-ET-0009 de los Términos de Referencia, relativas a la ubicación de diversos locales técnicos en planta andén.

Esta propuesta consiste en pasar las salas de comunicaciones auxiliares y la sala de comunicaciones de telefonía móvil de la planta de andén a la planta vestíbulo, a las salas actualmente ocupadas para usos eléctricos. Esas salas eléctricas pasarían de la planta vestíbulo a la planta prevestíbulo, junto a la subestación eléctrica.

En el espacio liberado se colocarán las salas de planta andén y las salas de personal, baños, jefe de estación y sala de primeros auxilios que actualmente están en las crujías que desaparecen en los extremos de la estación.

En la planta prevestíbulo se colocarían todas las salas eléctricas que había en la pieza central de la planta vestíbulo: sala de Cabinas de Media Tensión, Sala de Centros de Transformación, sala de U.P.S., Sala de Baja Tensión y Sala de Comunicaciones principal.

Con esta medida, se logra el siguiente ajuste de longitud:

Tipo de estación	Longitud inicial	Longitud reducida	Ajuste de longitud	Ajuste de longitud en %
Tipo 2 túnel	262,2 m	238,2 m	24 m	9,1%

Estaciones en las que es posible aplicar esta medida:

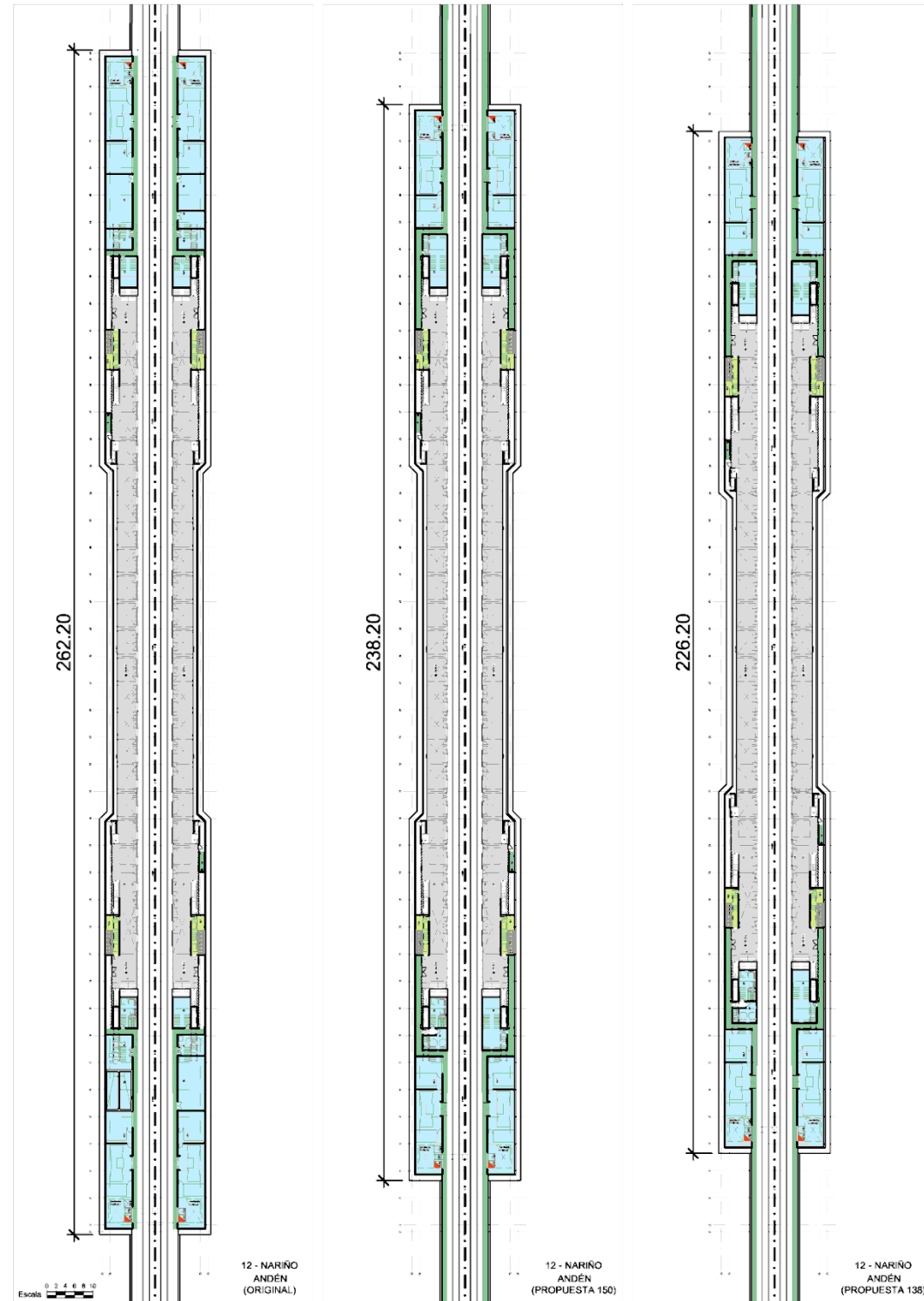
- Santander, Nariño, Parque Nacional,

Estaciones en las que por su condición de estación de transferencia, se deberá realizar una variante de esta medida:

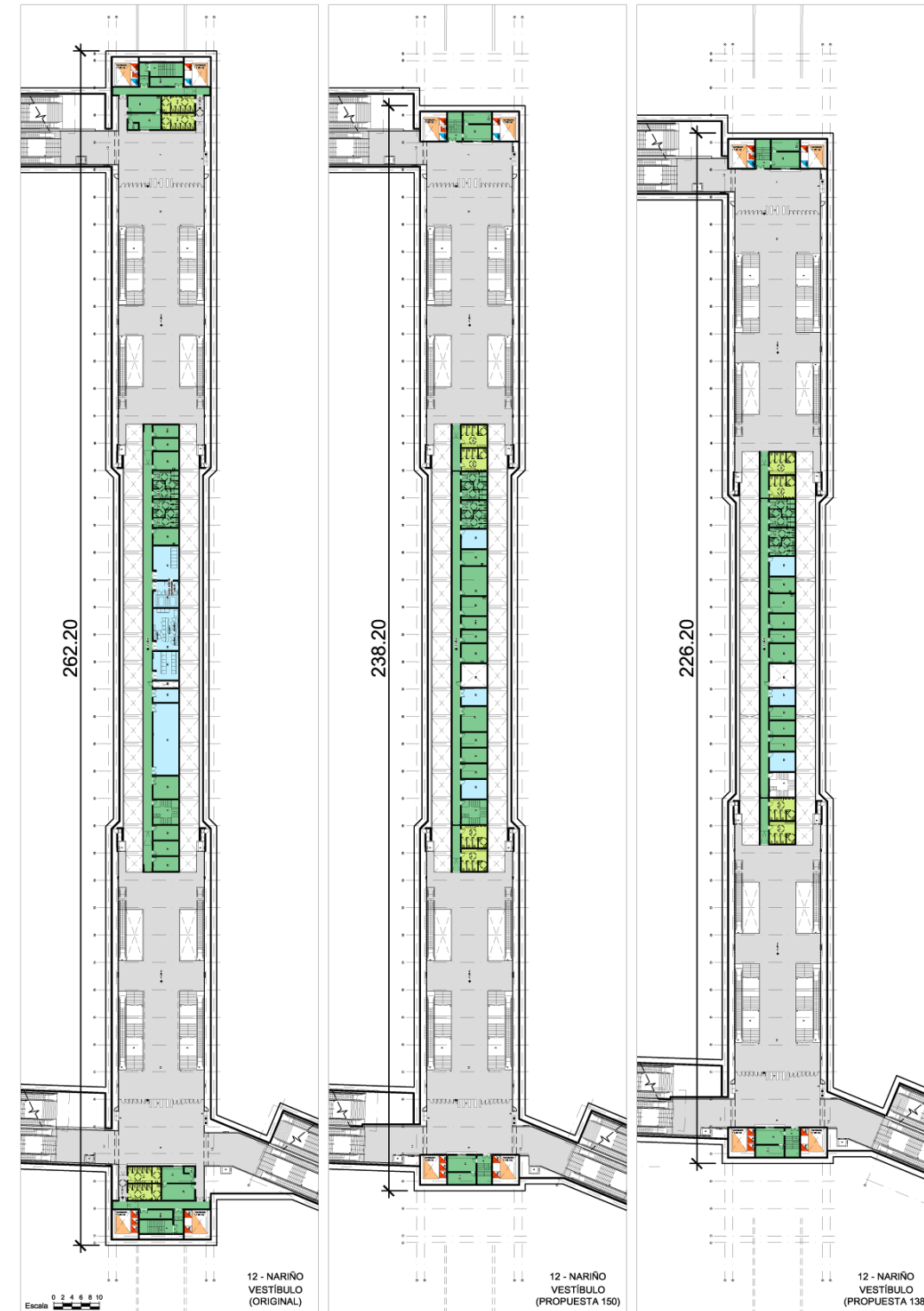
- *Hortúa, San Victorino* (puede ser necesario sacar la subestación eléctrica del cajón de la estación) y *Lima*.
- *La Rebeca* tiene un esquema similar a las Tipo 2 túnel y también puede reducirse su longitud en 36 metros.

Se adjuntan croquis de la estación en longitud original y longitud reducida de cada nivel de la estación:

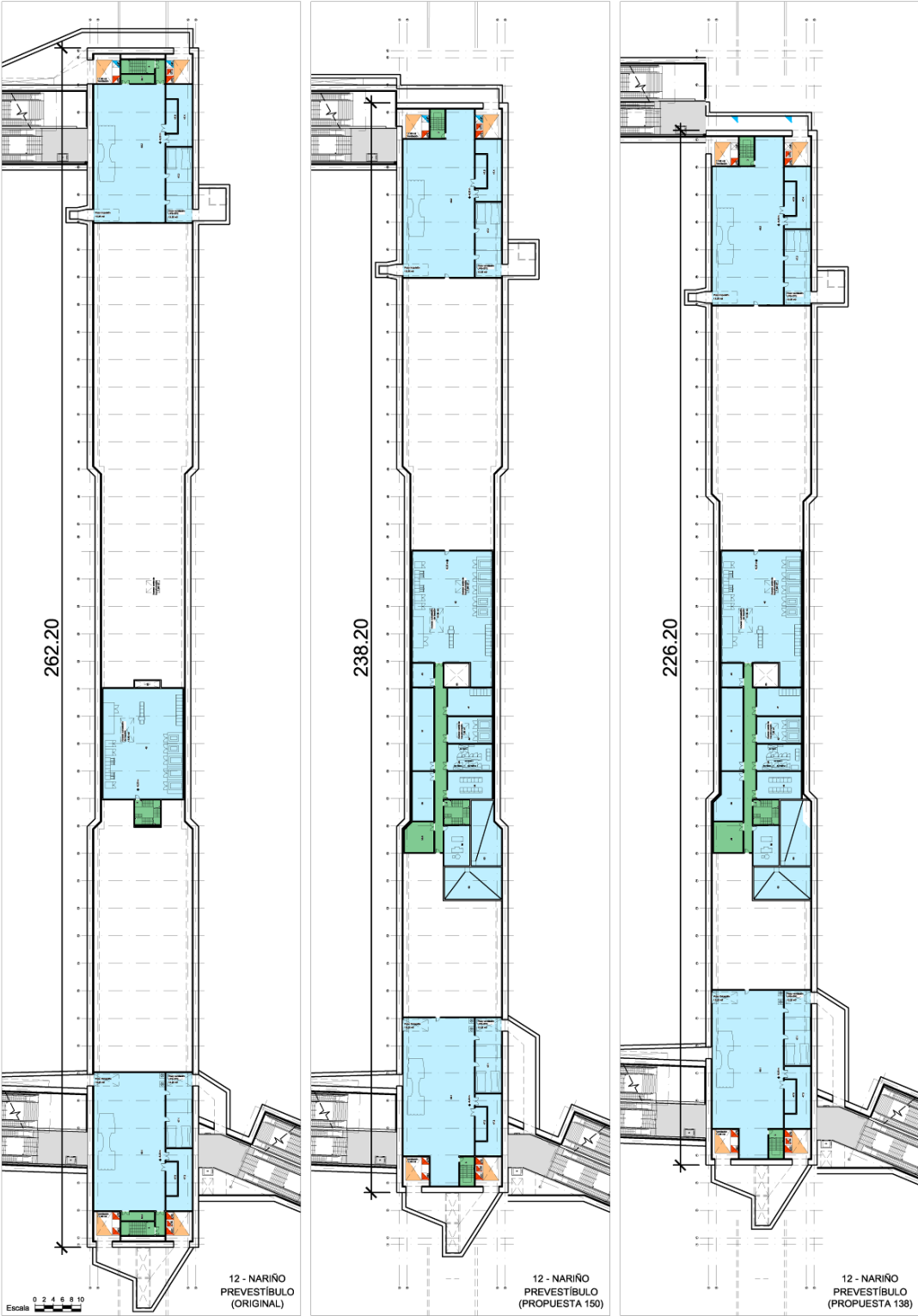
ESTACIÓN TIPO 1 TÚNEL TBM; NIVEL PREVESTÍBULO



ESTACIÓN TIPO 2 TÚNEL TBM; NIVEL ANDÉN



ESTACIÓN TIPO 2 TÚNEL TBM; NIVEL VESTÍBULO



• Tabla resumen de características de las estaciones.

Se adjunta a continuación una tabla resumen las diferentes opciones de ajuste en la longitud de las estaciones:

TIPO I TÚNEL	TIPO I TÚNEL REDUCIDA
Longitud Original	Longitud Reducida
3 Niveles	3 Niveles
Longitud: 208,2 m	Longitud: 169,2 m (Reducción de 18,7%)
Anchura: 30,7 m	Anchura: 30,7 m
Profundidad: 19,2 m	Profundidad: 19,2 m

TIPO II TÚNEL	TIPO II TÚNEL
Longitud Original	Longitud Reducida
3 Niveles	3 Niveles
Longitud: 262,2 m	Longitud: 238,2 m (Reducción de 9,1%)
Anchura: 24,2 m	Anchura: 24,2 m
Profundidad: 19,2 m	Profundidad: 19,2 m

La aplicación de esta idea a la PLMB (sólo sobre las estaciones situadas entre tramos de túnel con TBM) implica que las longitudes en las que se reducen las estaciones pasen a ser túnel TBM por lo que en la estimación del ahorro se ha tenido en cuenta que existe este sobre costo y se ha deducido del que se obtiene por el ajuste de longitud de las estaciones.

El ahorro estimado en costo directo por aplicación de esta idea es el siguiente:

- EST-10 A. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones: -\$127.696.534.370 (antes de AIU)

La aplicación de esta idea se vería modificada si se aplica simultáneamente con la EST-1 Supresión de la Estación Casablanca. En este caso, la estimación del ahorro en costo directo sería de:

ESTACIÓN TIPO 2 TÚNEL TBM; NIVEL PREVESTÍBULO

- EST-10 B. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones: -\$119.686.818.269 (antes de AIU)

Si además se aplica simultáneamente con la idea TUN-1 Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85, las estaciones siguientes podrían ser también objeto de ser ajustadas en longitud:

- Santo Tomás, Avenida Chile y Calle 85 (en el caso de tipo 1 túnel).
- Plaza de Lourdes (en el caso de tipo 2 túnel).

La Estación de Marly no se tiene en cuenta en el estudio de esta idea por aplicación de la EST-6. El caso de la estación de Gran Colombia se estudia en el punto 4.7.

En este caso, el ahorro estimado en costo directo sería de:

- EST-10 C. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones: -\$142.519.973.075 (antes de AIU)

El desglose de estas estimaciones de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

Se adjuntan las tablas resumen con el ajuste de las longitudes de las estaciones para las ideas EST-10 B (redistribución de cuartos técnicos, ajuste de longitud de estaciones y supresión de la estación de Casablanca) y EST-10 C (redistribución de cuartos técnicos, ajuste de longitud de estaciones y sustitución de túnel entre pantallas por TBM).

EST-10 B

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
1	Portal de Las Américas *	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Estación de transferencia, pero se produce fuera del cajón de la estación, por lo que es compatible con la reducción de longitud.
2	Casablanca	208,200	30,70	tipo 1 túnel	SE SUPRIME	Se suprime de acuerdo con la idea EST-1

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
3	Villavicencio	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
4	Palenque	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
5	Kennedy	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
6	Boyacá	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,20	Estación de transferencia, pero se produce fuera del cajón de la estación, por lo que es compatible con la reducción de longitud.
7	1° de Mayo	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
8	Avenida 68	226,200	30,70	Especial tipo 1 túnel	202,200	Es posible reducir la longitud de la estación en 2 crujías en cada extremo, ajustando 24 m la longitud de la estación. La parte central es 3 crujías más larga que la estación tipo debido al cruce del tren ligero por el centro de la estación. En una fase posterior de estudio más detallado se podrá analizar si se puede reducir la parte central y si se pueden simplificar los accesos y el pasillo circular.
9	Rosario	208,20	30,70	tipo 1 túnel	169,20	Reducción de 39 metros
10	NQS	208,20	30,70	tipo 1 túnel	169,20	El ajuste de longitud de esta estación es viable, pero será un tipo especial dentro de las Tipo 1 túnel, por la presencia en nivel prevestibulo de una subestación eléctrica y una estación de transferencia con Transmilenio. Es posible que la estación de Transmilenio prevista sobre ella, tenga que ser algo más corta.
11	Santander	262,202	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros
12	Nariño	262,200	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
13	Hortúa	262,202	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Longitud reducida, con la opción de 150 metros de andén. Estación de transferencia, pero sin subestación. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que hay un amplio espacio, es viable. Es posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
14	San Victorino	262,200	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros Estación de transferencia, pero con subestación eléctrica. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que está la subestación, debería estudiarse si cabe todo o se debe colocar la subestación eléctrica fuera del cajón de la estación. Es posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
15	Lima	260,20	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros. Estación de transferencia, pero sin subestación. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que hay un amplio espacio, es viable. Es

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
						posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
16	La Rebeca	322,900	24,20	Especial tipo 2 túnel	286,90	Ajuste de la longitud de la estación modificando los extremos de la estación y el esquema de los accesos y cambiando la ubicación de los cuartos técnicos situados en los extremos, redistribuyéndolos en los extremos ya acortados y parte en el centro de la estación, eliminando parte de la superficie comercial. La nueva estación empezaría en la crujía 3 de la estación original y terminaría en la 50.
17	Parque Nacional	262,271	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 24,07 metros
18	Gran Colombia	421,201	20,40	tipo 3 pantalla	238,20	Se mantiene Tipo 3 pantalla y longitud original de la estación.
19	Marly	415,205	24,20	tipo 3 pantalla	238,20	Se mantiene Tipo 3 pantalla y longitud original de la estación.
20	Santo Tomás	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
22	Avenida Chile	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
23	Calle 85	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
24	Parque 93	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
25	Calle 100	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
26	Usaquén	208,20	30,70	tipo 1 pantalla	280,2	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación
27	Calle 127	339,40	33,70	especial tipo 2 pantallas	339,4	Se mantiene Tipo 2 Especial pantalla y longitud original de la estación

EST-10 C

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
1	Portal de Las Américas *	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Estación de transferencia, pero se produce fuera del cajón de la estación, por lo que es compatible con la reducción de longitud.
2	Casablanca	208,200	30,70	tipo 1 túnel	SE SUPRIME	Se suprime de acuerdo con la idea EST-1
3	Villavicencio	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
4	Palenque	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
5	Kennedy	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
6	Boyacá	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,20	Estación de transferencia, pero se produce fuera del cajón de la estación, por lo que es compatible con la reducción de longitud.
7	1° de Mayo	208,200	30,70	tipo 1 túnel	169,200	Reducción de 39 metros
8	Avenida 68	226,200	30,70	Especial tipo 1 túnel	202,200	Es posible reducir la longitud de la estación en 2 crujías en cada extremo, ajustando 24 m la longitud de la estación. La parte central es 3 crujías más larga que la estación tipo debido al cruce del tren ligero por el centro de la estación. En una fase posterior de estudio más

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
						detallado se podrá analizar si se puede reducir la parte central y si se pueden simplificar los accesos y el pasillo circular.
9	Rosario	208,20	30,70	tipo 1 túnel	169,20	Reducción de 39 metros
10	NQS	208,20	30,70	tipo 1 túnel	169,20	El ajuste de longitud de esta estación es viable, pero será un tipo especial dentro de las Tipo 1 túnel, por la presencia en nivel prevestíbulo de una subestación eléctrica y una estación de transferencia con Transmilenio. Es posible que la estación de Transmilenio prevista sobre ella, tenga que ser algo más corta.
11	Santander	262,202	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros
12	Nariño	262,200	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros
13	Hortúa	262,202	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Longitud reducida, con la opción de 150 metros de andén. Estación de transferencia, pero sin subestación. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que hay un amplio espacio, es viable. Es posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
14	San Victorino	262,200	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros Estación de transferencia, pero con subestación eléctrica. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
						técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que está la subestación, debería estudiarse si cabe todo o se debe colocar la subestación eléctrica fuera del cajón de la estación. Es posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
15	Lima	260,20	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 23,8 metros. Estación de transferencia, pero sin subestación. En el nivel de prevestíbulo, habrá que redistribuir los cuartos técnicos de los extremos y ocupar el centro, pero dado que hay un amplio espacio, es viable. Es posible que desaparezca la comunicación entre las dos estaciones de TM que se produce ahora por el prevestíbulo
16	La Rebeca	322,900	24,20	Especial tipo 2 túnel	286,90	Ajuste de la longitud de la estación modificando los extremos de la estación y el esquema de los accesos y cambiando la ubicación de los cuartos técnicos situados en los extremos, redistribuyéndolos en los extremos ya acortados y parte en el centro de la estación, eliminando parte de la superficie comercial. La nueva estación empezaría en la crujía 3 de la estación original y terminaría en la 50.

	Estación	Longitud (m)	Ancho (m)	Tipo de Estación	Longitud reducida (m)	
17	Parque Nacional	262,271	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Reducción de 24,07 metros
18	Gran Colombia	421,201	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Cambio de estación Tipo 3 de andenes laterales a Tipo 2 túnel de andenes laterales. Es posible que haya que demoler un predio de 3 plantas situado al sur de la estación.
19	Marly	415,205	20,40	tipo 3 pantallas	SE SUPRIME	Se suprime de acuerdo con la idea EST-6
20	Santo Tomás	262,240	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Cambio de tipo 2 pantalla a tipo 2 túnel.
22	Avenida Chile	262,201	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Cambio de tipo 2 pantalla a tipo 2 túnel.
23	Calle 85	280,50	24,20	tipo 2 túnel	238,20	Cambio de tipo 2 pantalla a tipo 2 túnel.
24	Parque 93	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
25	Calle 100	280,50	24,20	tipo 2 pantalla	280,50	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación.
26	Usaquén	208,20	30,70	tipo 1 pantalla	280,2	Se mantiene Tipo 2 pantalla y longitud original de la estación
27	Calle 127	339,40	33,70	especial tipo 2 pantallas	339,4	Se mantiene la Estación

4.6. EST-11. Profundidad de estaciones en tramos TBM

Una cobertura inferior a un diámetro no es un caso habitual para la excavación con TBM y menos en zonas urbanas, añadiendo además las características de suelos blandos existentes en la ciudad de Bogotá. Con estas condiciones el riesgo de ocurrencia de subsidencias, colapsos, levantamientos por la presión del frente y daños en superficie es muy elevado como consecuencia de las pésimas características geotécnicas del terreno, de los cambios de manejo de la TBM, de cualquier anomalía no contemplada inicialmente, etc...

Por ello, no se debe adoptar coberturas tan bajas y asumir los riesgos citados, basándose únicamente en reducir costes económicos y plazos de obra. La solución hipotética técnicamente sería contemplar un tratamiento casi generalizado en este tramo pero mucho más denso que el planteado en otros tramos con mayores coberturas. Además, el propio tratamiento supone un riesgo añadido pues durante su ejecución se pueden provocar levantamientos del terreno por las inyecciones de alta presión, afectando a la vía y/o edificios colindantes, motivado igualmente por la escasa cobertura.

Otro aspecto muy relevante es los problemas que pueden surgir con la excavación de la tuneladora EPB y la presión del frente, ya que cualquier anomalía o cambio geotécnico puede dar lugar a hundimientos o colapsos o incluso levantamientos del terreno por presiones elevadas del escudo.

Tras estas conclusiones no tiene sentido analizar y evaluar económicamente una solución con una rasante más alta, cuando es evidente que una solución con una cobertura mayor supone minimizar los riesgos, técnicamente es más viable y evidentemente económicamente es más ventajosa.

Por otro lado, la valoración económica que se pueda desarrollar no es realista porque no contempla cualquier suceso o daño descrito que se origine supone un importante coste añadido y a priori desconocido; y en nuestra opinión, con los condicionantes citados, la probabilidad de ocurrencia es muy alta.

Flotación

Un aspecto que no ha tenido en cuenta la Ingeniería de Valor es el análisis de flotabilidad del túnel si este se ejecuta a una cota sobre la clave de unos 0,7 diámetros (0,7·D), es decir, con una cobertura de unos 7,7 m.

Se hace un cálculo estimativo:

Para la comprobación de la flotación se ha seguido lo indicado en el Eurocódigo - 7.

El equilibrio de la cimentación frente a la flotación queda verificado, si se cumple la condición:

$$V_{dst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

donde:

$$V_{dst,d} = G_{dst,d} + Q_{dst,d}$$

$V_{dst,d}$ = Acciones verticales desestabilizadoras (permanentes y variables).

$G_{stb,d}$ = valor de cálculo de las acciones verticales permanentes estabilizadoras.

R_d = Valor de cálculo de cualquier resistencia a la subpresión adicional

$G_{dst,d}$ = valor de cálculo de las acciones permanentes desestabilizadoras

$Q_{dst,d}$ = valor de cálculo de las acciones variables desestabilizadoras

Los valores de cálculo $G_{dst,d}$ y $Q_{dst,d}$ se han obtenido aplicando unos coeficientes de mayoración de 1,00 y 1,50 a los valores característicos de las acciones permanentes y variables desestabilizadoras, respectivamente.

Debe observarse que el agua sobre el terreno se ha considerado de acuerdo con DB SE-AE y el Eurocódigo 2-4 (Apartado 2.3.3.1) una carga permanente (coeficiente de mayoración de 1,0). Se muestra a continuación parte del epígrafe 109 del Eurocódigo 2-4: “*las acciones producidas por el terreno o por el agua contenida en el terreno se consideran acciones permanentes y se obtendrán según lo establecido en el Eurocódigo 7*”.

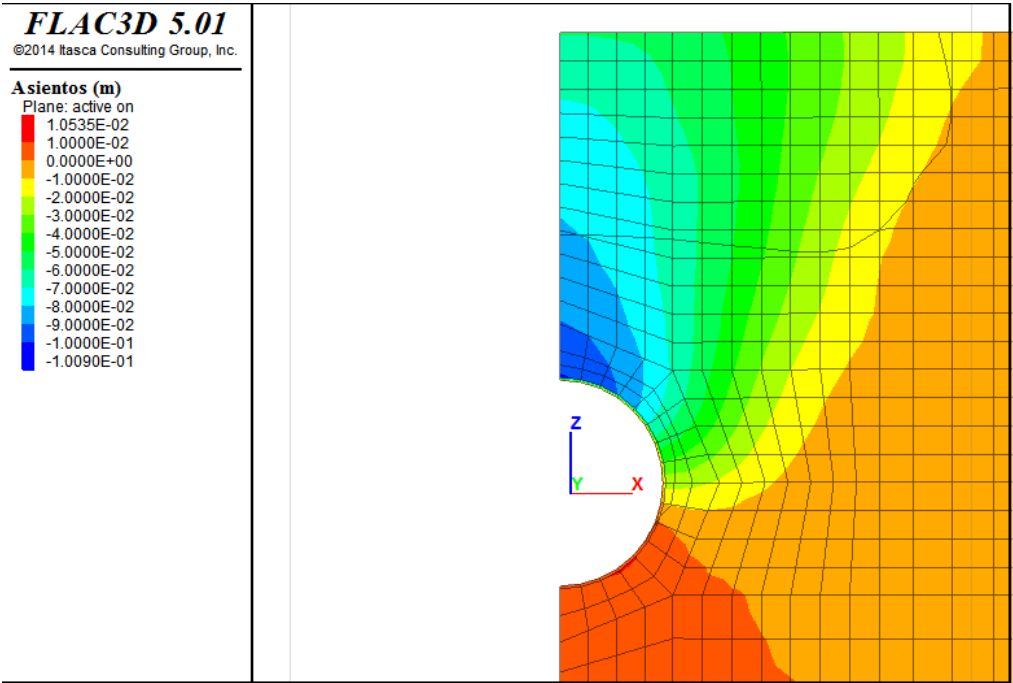
El valor $G_{stb,d}$ se obtendrá aplicando un coeficiente de minoración de 0,9 al valor característico de las acciones permanentes estabilizadoras.

Para el peso del terreno se ha adoptado el siguiente peso específico:

$$\text{Peso específico} = 1,90 \text{ t/m}^3$$

Por tanto, como acciones desestabilizadoras se tendrá la subpresión $G_{dst,d} = U_{dest}$ y como acciones estabilizadoras se tendrá el peso del terreno W_{terr} + Rozamientos laterales τ_{lat} .

Caso habitual.-



Consideramos que el mecanismo de rotura es el de una chimenea cuasi-vertical, pues es donde se producen los mayores desplazamientos y tensiones tangenciales (ver figura). Esto es aún más cierto cuanto más se aproxima el túnel a la superficie.

En cuanto a los tipos de terreno afectados, lo más probable es suponer que serán los de tipo Qtb11, Qtb21, Qcc 11 y Qcc21 y los rellenos existentes cubriendo estos suelos.

Las propiedades de resistencia al corte de dichos suelos son:

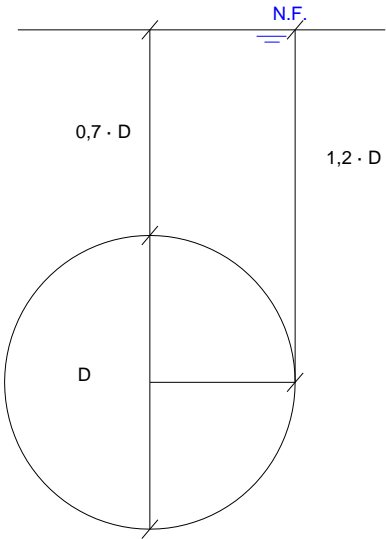
SUELO	Cohesión efectiva (t/m²)	Ángulo de rozamiento interno (°)
Qtb11	0,5	30
Qtb21	0,4-0,6	14-16
Qcc 11	0,8-1,2	28-30
Qcc21	1,0	18
RELLENOS	0,0	28

No obstante, dada la deformación impuesta al terreno durante la ejecución del túnel en los planos tangentes verticales, superiores a 7 cm, es recomendable para el análisis de flotabilidad considerar como parámetros resistentes reducidos.

Como parámetros de resistencia al corte residuales, a la vista de los valores de resistencia de pico recogidas en la tabla anterior, se propone eliminar la cohesión y reducir la fricción a 20°.

PARÁMETROS DE CÁLCULO	
Cohesión (t/m²)	Ang. Fricción (°)
0,0	20

Esquema de cálculo



Se hace la hipótesis de nivel freático en superficie, que aunque no es el habitual en toda la traza si se puede generar al existir riesgo de inundación y subir los niveles casi a superficie.

Subpresión $U_{dest} = (1,2 \cdot D \cdot D) + (\pi \cdot (D/2)^2) / 2 = 192,72 \text{ t/m para } D=11 \text{ m}$

Peso de tierras $W_{terr} = 1,9 \cdot 0,7 \cdot D \cdot D = 160,93 \text{ t/m para } D=11 \text{ m}$

Resistencia al corte lateral $\tau_{lat} = 2 \cdot [1,2 \cdot D \cdot C'_{res} + (\gamma_{sum} \cdot (1,2 \cdot D)^2 \cdot K_0 \cdot \text{tg } \varphi_{res}) / 2]$

donde

$$\gamma_{\text{sum}} = 0,9 \text{ t/m}^3$$

$$C'_{\text{res}} = 0 \text{ t/m}^2$$

$$K_0 = 0,5$$

$$\text{tg } \phi_{\text{res}} = \text{tg } 20^\circ = 0,36$$

quedando

$$\tau_{\text{lat}} = 28,54 \text{ t/m}$$

Por lo tanto,

- $G_{\text{dst,d}} = C S_{\text{dst}} \cdot U_{\text{dest}} = 1 \cdot 192,72 = 192,72 \text{ t/m}$
- $G_{\text{stb,d}} = C S_{\text{stb}} \cdot (W_{\text{terr}} + \tau_{\text{lat}}) = 0,9 \cdot (160,93 + 28,54) = 170,52 \text{ t/m}$

Para $D \approx 11,00 \text{ m}$ se obtiene un Factor de Seguridad frente a la flotación en situaciones normales igual a:

$$FS_{\text{flot}} = G_{\text{stb,d}} / G_{\text{dst,d}} = 170,52 / 192,72 = \mathbf{0,88 \quad NO CUMPLE}$$

Con una cobertura de $0,7 \cdot D$ sobre la clave del túnel se está en una situación desestabilizadora, por tanto **NO ES VIABLE**, teniendo en cuenta además que existen puntos con posible niveles piezométricos surgentes.

Conclusión

La conclusión principal y excluyente es que con una cobertura de $0,7$ diámetros el túnel es susceptible a sufrir flotabilidad, por lo que **NO es viable** esta opción y queda totalmente descartada por el riesgo que ello supone.

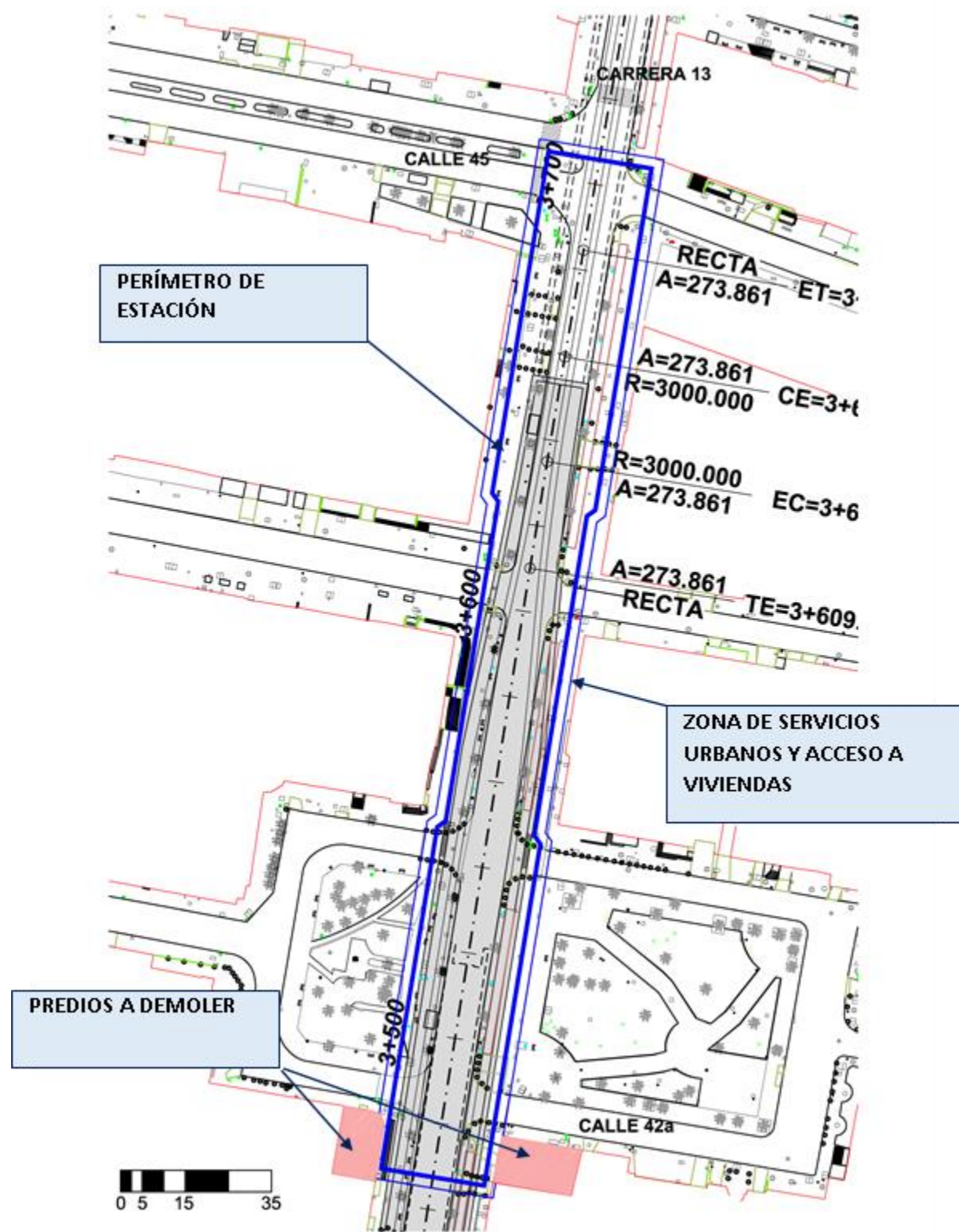
4.7. EST-12 Transformación de Estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2

Esta propuesta hay que analizarla conjuntamente con la idea EST-6, de supresión de la Estación de Marly. La razón por la que se decidió diseñar las Estaciones de Gran Colombia y Marly con andén central y no con andenes laterales fue la estrechez del viario en las zonas en que el Estudio Conceptual preveía su implantación.

La estación Gran Colombia se encuentra en un tramo de túnel de la PLMB a ejecutar mediante pantallas.

Al aceptar la idea EST-6 y eliminar la Estación de Marly, es deseable desplazar la Estación de Gran Colombia hacia el norte.

Se ha analizado esta opción y se ha encontrado un nuevo emplazamiento que se muestra en la imagen, que permite insertar una estación tipo 2 de andenes laterales como se muestra en la figura siguiente:



La modificación de la tipología de la estación de Gran Colombia supone un ahorro estimado en costo directo de:

- EST-12 A. Transformación de estaciones tipo 3 en tipo 2: -\$46.220.646.508 (antes de AIU)

La estimación económica del ahorro por la aplicación de esta idea se vería modificada si se aplicara simultáneamente la TUN-1. Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85, que se analizará en el punto 4.8. En tal caso, la estimación económica del ahorro correspondería a:

- EST-12 B Transformación de estaciones tipo 3 en tipo 2: -\$21.423.596.950 (antes de AIU).

También se vería modificada si además de TUN-1 se aplicara simultáneamente la EST-10. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones. En este caso, la estimación económica del ahorro correspondería a:

- EST-12 C Transformación de estaciones tipo 3 en tipo 2: -\$26.182.692.683 (antes de AIU).

El desglose de estas estimaciones de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

4.8. TUN-1 Sustitución de Túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85

En relación con la idea TUN-1 se tiene en cuenta la idea EST-6 que se refiere a la eliminación de la Estación Marly.

En el Proyecto redactado por CL1 se justifica el procedimiento constructivo de ejecución del túnel al abrigo de pantallas por los siguientes motivos:

- “El tramo de túnel en línea es muy reducido, ya que las estaciones de Gran Colombia y Marly presentan mayor longitud por ser de andén central. Además las estaciones de Gran Colombia, Marly, Santo Tomás y Plaza de Lourdes se encuentran muy próximas, con distancias entre ellas comprendidas entre 300 m y 500 m aproximadamente”.

Este aspecto queda mejorado si se elimina la Estación de Marly y se acorta la Estación de Gran Colombia al pasar de andén central a andenes laterales.

- “Debido a la estrechez de la calle, si se ejecuta con tuneladora la afección a edificios será importante, ya que debido al gran diámetro que se requiere, la mayoría de los edificios se encontrarán dentro de la cubeta de asientos y por tanto el riesgo de daños puede ser considerable. Para reducir el asiento y proteger a los edificios, el volumen de tratamientos sería importante, teniendo en cuenta además la limitación de espacio que se dispone”.

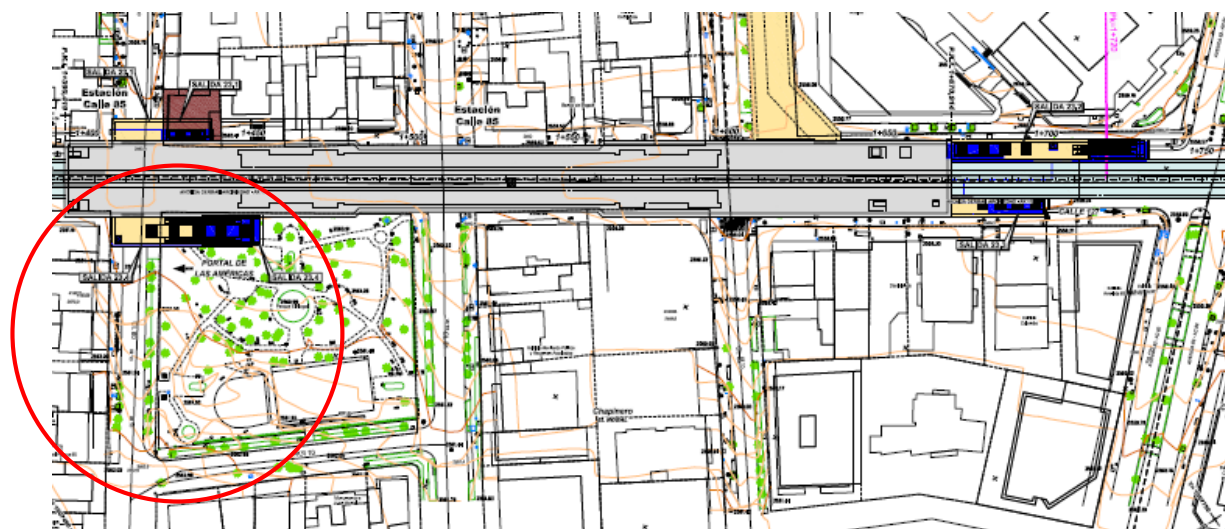
Es cierto que a lo largo de la Carrera 13 el espacio es reducido, al menos desde la Estación Gran Colombia hasta pasada la Estación Plaza de Lourdes. Ello implica aumentar los tratamientos superficiales para evitar asientos significativos, riesgos de socavaciones, protección a edificios, etc... No obstante, este aumento de tratamientos puede compensar económicamente el cambio del proceso constructivo.

- “Si se ejecuta con pantallas los riesgos de daños a edificios serán mucho menores, ya que las propias pantallas actúan como protección”.

Se debe contemplar un tratamiento de barreras de protección para evitar daños a edificios, principalmente los de sensibilidad media y alta, o aquellos edificios singulares o de gran altura.

Para reconsiderar la propuesta presentada por la Ingeniería de Valor se plantean los siguientes condicionantes:

En primer lugar hay que evaluar la posibilidad de extraer la tuneladora y resto de equipos en la Estación Calle 85. Se debe habilitar un pozo de salida de la maquinaria y para ello debe existir espacio suficiente junto a la estación para acometer los tratamientos ante previsiones de grandes cargas, zonas donde almacenar los módulos de la tuneladora y equipos, zonas de circulación, etc... Parece ser que el lugar más idóneo sería reservar el Parque del Nogal para tal fin, como bien se puede observar en la siguiente figura:



El mayor problema que puede surgir es el del transporte al encontrarse la Estación en una zona de mucha actividad económica y con vías de mucha circulación.

El estudio de Ingeniería de Valor menciona la posibilidad de necesidad de una cuarta tuneladora para mantener el plazo de la obra. Ello no se considera factible, principalmente por la falta de espacio suficiente

para plantear un pozo de ataque con todas sus instalaciones de obra necesarias en la Estación Calle 85. Además, si se emplea una nueva tuneladora el coste por metro de ejecución con TBM aumentará significativamente dado que se reduce la longitud del tramo, y en consecuencia el coste de adquisición de la TBM repercute directamente en el precio unitario al tener menor longitud de ejecución.

Si se decide ejecutar el tramo con TBM, ésta iniciará su recorrido en el Parque del Tercer Milenio y saldrá en la Estación Calle 85 (Parque del Nogal).

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta es la profundidad del túnel para evaluar los tratamientos y la posible flotabilidad del túnel, por ello se consideran dos situaciones:

- Túnel con cobertura sobre la clave del orden de 0,7 diámetros

La propuesta de la IdV, como se justifica en el punto 4.6 es necesario descartarla, por los riesgos geotécnicos y constructivos que implican.

- Túnel con cobertura sobre la clave del orden de un diámetro

Esta es la opción que será analizada.

Lógicamente, cuando las distancias lo permitan se profundizará el túnel a coberturas mayores.

Para analizar con más detalle esta opción se ha adaptado un nuevo perfil longitudinal teniendo en cuenta las nuevas dimensiones de las estaciones y la eliminación de la Estación de Marly, además se ha superpuesto el perfil geotécnico longitudinal para analizar la influencia del terreno sobre el túnel y poder evaluar los tratamientos (Ver Apéndice 8 del presente informe) y en planta se ha supuesto una anchura tal donde el asiento es del orden de 7 mm, es decir unos 11,00 m a cada lado.

Tratamientos

La gran mayoría de tratamientos en este tramo están orientados a proteger los edificios debidos la estrechez de la vía. Por ello, se plantea un tratamiento amplio de barreras de pilotes de mortero (donde es posible verticalizar) y de barreras de micropilotes (donde requiere un tratamiento con inclinación). Se completa los tratamientos analizando el perfil geotécnico y evaluando la posibilidad de hundimientos y/o colapsos generados presencia de materiales de poca compacidad o consistencia sobre la clave del túnel.

La sustitución del túnel por TBM entre Gran Colombia y Calle 85 implica además aumentar en profundidad las estaciones lo que ha sido tenido en cuenta también en la estimación del ahorro, que se ha estimado sería:

- TUN-1. Sustitución de túnel entre pantallas por túnel TBM entre Gran Colombia y Calle 85: - \$.61.666.224.508 (antes de AIU)

El desglose de esta estimación de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe, junto con un presupuesto detallado de la ejecución del túnel con TBM, los tratamientos previstos y los recintos de impermeabilización a la entrada y salida de las estaciones y pozos de emergencia.

Plazo

Como se puede comprobar en los programas de trabajo que se adjuntan en el Apéndice 5 del presente informe esta opción implica que se aumenta la duración de los trabajos de cinco años y ocho meses a seis años y tres meses.

Conclusión

En vista de los resultados obtenidos resulta más económica la solución con tuneladora a mayor profundidad, pero tiene varios inconvenientes, por un lado aumenta el plazo de la obra y la afección al tráfico , ya que no se podría cerrar la Estación de la Calle 85, hasta la extracción de la tuneladora y por otro lado la opción de túnel entre pantallas es una solución más rígida y con menos incertidumbres en el comportamiento del terreno que la opción con TBM, con lo que se disminuye el riesgo para los edificios.

Como se ha indicado en el punto anterior, la aplicación de TUN-1 implicaría cambios para EST-12 ya que al cambiar el método constructivo del túnel, la transformación de la estación Gran Colombia se plantearía igualmente a una estación de andenes laterales pero para túnel con tuneladora en lugar de túnel entre pantallas.

La siguiente tabla resume las ventajas e inconvenientes asociadas a esta idea:

	Carrera 13	
	Construcción con Pantallas	Construcción con Tuneladora
Costo	\$ 442.819.340.619	\$ 381.153.116.111
Plazo	68 meses	75 meses
Seguridad y afecciones a edificios	MÁS SEGURO	MENOS SEGURO
Funcionalidad y comodidad para el usuario	FAVORABLE	DESFAVORABLE
Redes	MÁS AFECCIÓN	MENOS AFECCIÓN

A la vista de los criterios indicados en la tabla anterior, se recomienda mantener el túnel entre pantallas en la Carrera 13.

4.9. POZ-1 Modificación de la tipología Estructural de los pozos de salida de emergencia

En los diseños realizados por el Consorcio L1, se ha considerado como un criterio prioritario el de la seguridad de las personas, y teniendo en cuenta especialmente las necesidades de las personas de movilidad reducida y la gran capacidad de los trenes. La evacuación se ha previsto que sea frontal por los extremos del tren, complementada por la pasarela lateral.

La evacuación de las personas en sillas de ruedas será siempre por el frontal ya que la pasarela lateral no tiene un ancho suficiente para el paso de sillas de ruedas, ello implica que si el tren a evacuar está detenido delante de la salida de emergencia su acceso sería imposible para una persona de movilidad reducida que tendría que ser evacuada forzosamente por la estación más próxima salvo que se dispongan dos salidas por pozo.

En el caso del túnel con tuneladora, el recinto de los pozos permite además realizar el mantenimiento de la tuneladora, caso que sea necesario en los tramos largos entre Estaciones que es donde son ubicados.

Adicionalmente, el ahorro que supone cambiar la tipología estructural de los pozos de salida de emergencia no es muy elevado por lo que no se considera oportuno asumir dicha pérdida de seguridad y se desestima esta medida.

4.10. SEÑ-1 Eliminar Sistema ATP de respaldo

El sistema de señalización principal previsto para la PLMB se basa en un sistema CBTC con funcionamiento en modo GoA4, lo que no requiere la presencia de personal a bordo del tren para llevar a cabo de conducción.

Además de este sistema de señalización, se plantearon dos sistemas de respaldo, en caso de un fallo del sistema de señalización principal y que permitían la operación de la línea en modo degradado, esto es, sistema ATP de respaldo y señalización lateral.

El sistema ATP de respaldo implica la instalación de balizas previas y a pie de señal a lo de largo de todo el trazado de la línea, así como existencia del equipamiento correspondiente en cuartos técnicos, encargados

de proporcionar la información a las balizas y el equipamiento de todo el material embarcado que deberá tener el equipo correspondiente de lectura de balizas.

El sistema ATP se encargará de llevar a cabo las siguientes rutinas, para supervisar la conducción del material rodante:

- Supervisión de la velocidad máxima fijada por la geometría de vía.
- Supervisión de la velocidad máxima en puntos singulares: pasos por andén, pasos por agujas.
- Supervisión de la velocidad máxima atendiendo al aspecto de las señales de explotación.

Estas funciones ya son llevadas a cabo por el funcionamiento ATP que implementa el propio sistema CBTC (ATP+ATO).

El sistema de señalización lateral estará formado por señales de dos focos en los finales de andén y señales de dos focos más indicador en las inmediaciones de las breteles existentes a lo largo del trazado. La detección continua del tren se ha diseñado mediante la instalación de circuitos de vía de audiofrecuencia.

Con todo esto, se tendría en la línea una doble redundancia que podría, en casos, suponer una causa de fallos en caso de modo degradado, ya que, en caso de caída del CBTC, no hay garantía de que el sistema ATP de respaldo esté disponible, ya que será un sistema que no va a ser utilizado nunca.

Con la señalización lateral sería suficiente para operar en modo degradado, porque, en ningún caso, ni aun manteniendo el ATP de respaldo, se podría pensar en la posibilidad de funcionar en operación normal, con unas condiciones de CBTC en fallo.

Para aquellos casos de fallo en el sistema CBTC se procederá a realizar operaciones de retirada de vehículos hasta estaciones, o conducción hasta los talleres y cocheras, no siendo necesaria la existencia del sistema ATP de respaldo, dado que existe señalización lateral.

Como conclusión, cabe destacar que la supresión del sistema ATP no supondrá una disminución ni en la disponibilidad del sistema, ni en la seguridad en la operación de la línea.

La inclusión del sistema ATP en el diseño del sistema de señalización para la PLMB fue una solicitud planteada por parte de la Interventoría en las reuniones mantenidas durante la fase de diseño del sistema.

En los Términos de Referencia se requería, únicamente, la implantación de un sistema ATP en Talleres y Cocheras pero, por solicitud de la Interventoría, se amplió la instalación de este sistema también al resto de la línea.

El ahorro en la supresión del sistema ATP estará formado por la supresión de las siguientes unidades en el presupuesto:

- Equipo ATP presentes en el túnel
- Equipo ATP presente en el ramal técnico
- Equipo ATP presente en los Talleres y Cocheras
- Ingeniería de aplicación sistema ATP
- Ingeniería de pruebas y puesta en servicio sistema ATP
- Documentación y Capacitación sistema ATP

La eliminación del sistema ATP de respaldo supone un ahorro estimado en costo directo de:

- SEÑ-1 A. Eliminar Sistema ATP de respaldo. -\$15.584.654.337 (antes de AIU)

El desglose de esta estimación de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

4.11. COM-1 Integración de redes de voz, video y datos en dos redes

El principio que se establecen para el diseño de las redes de comunicaciones de la PLMB es que la red sea el soporte físico y lógico para la transmisión de voz y datos de alta capacidad. Es por ello que deberá proporcionar una alta fiabilidad y una gran disponibilidad, además de poseer un alto nivel de redundancia. Esta red de transmisión digital deberá ser capaz de transmitir señales de voz, datos y vídeo, con capacidad para soportar todos los servicios requeridos a corto, medio y largo plazo.

A partir de estas premisas y se requirió por parte de la Interventoría, que se plantearan tres redes de comunicaciones independientes:

- Red Transmisión Voz y Datos, RMS (red Multiservicio)
- Red Circuito Cerrado de Televisión (red CCTV)

- Red Señalización (red Señalización)

El hecho de tener una red de señalización totalmente independiente se justifica porque al ser un medio para transmitir información vital, se pretende garantizar que no exista ninguna trama de información de la red multiservicio o red de vídeo que pudiese introducir algún fallo en la transmisión de datos críticos.

El plantear, en un principio, una separación entre la Red de Voz/Datos y la Red de Vídeo venía derivado de la posibilidad de que necesidades de transmisión del vídeo pudiesen penalizar el ancho de banda disponible para voz/datos (RMS).

Una vez hechos los cálculos exhaustivos de ancho de banda, cuyos resultados se muestran a continuación, queda claramente justificado que sería suficiente con una sola red, de las características prevista, para la transmisión de información de voz, datos y vídeo.

Comparativa de las necesidades de ancho de banda para las distintas redes:

- Considerando los servicios implementados sobre la red multiservicio de Metro de Bogotá, se obtiene el siguiente consumo de ancho de banda:
 - o Escenario actual: 48,30 Mbps
 - o Escenario futuro (crecimiento 50%): 77,04 Mbps
- Para la red de vídeo, los cálculos de ancho de banda son:
 - o Escenario actual: 202,75 Mbps
 - o Escenario futuro (crecimiento 50%): 305,15 Mbps
- Sumando los consumos de ambas redes, al considerar una unificación de la mismas, los valores resultantes son:
 - o Escenario actual: 251,05 Mbps
 - o Escenario futuro (crecimiento 50%): 382,19 Mbps

En ambos casos, al unificar las redes, el valor resultante será muy inferior (<50%) a la capacidad de los nodos locales de acceso que es de 1 Gbps (Backbone de 10 Gbps).

Por todo ello, se considera viable la integración de la Red de Voz/Datos con la Red de Vídeo, ya que el ancho de banda de la red de comunicaciones planteada para la PLMB permite cubrir las necesidades de ancho de banda y disponibilidad que puedan demandar ambas redes, actualmente proyectadas de forma independiente.

En cuanto a la Red de Señalización, en ningún caso, sería viable integrarlo con otras redes, ya que cualquier incidencia debida a otros sistemas podría poner en riesgo la disponibilidad y fiabilidad de la que debe disponer un sistema crítico como es el Sistema de Señalización.

El ahorro previsto con la unificación de ambas redes, considerando sólo la eliminación de la electrónica de red correspondiente a la Red CCTV planteada, ya que, desde un principio, ambas redes han compartido la misma manguera de fibra óptica para realizar la transmisión, es:

- COM-1 A. Integración de redes de voz, vídeo y datos: - \$12.222.733.437 (antes de AIU).

Para el cálculo de los ahorros se ha considerado la eliminación de los nodos de Core y distribución correspondientes a la red CCTV, que ahora son compartidos con la RMS, así como la parte proporcional de gestión de red asociada a misma y una parte de Ingenierías, Pruebas, Documentación y Puesta en servicio.

El desglose de esta estimación de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

4.12. ENE-1. Optimización del estudio eléctrico

Apartado 5.4.1 del Informe de IdV.

Para reducir adicionalmente los valores de consumos habría que reducir la potencia instalada en los trenes, algo con lo que Consorcio L1 no está de acuerdo, ya que esto incrementaría el tiempo de recorrido y **se anularía la ventaja de la opción VÍA-1 y la consecuente reducción de flota.**

El tren diseñado para la operación comercial de la PLMB se ajusta a los términos de referencia del contrato.

Las prestaciones requeridas en modo degradado han sido el detonante de la potencia de tracción de 4.100 kW, que con los sistemas auxiliares suman los 4.500 kW de potencia total.

La potencia de 4.100 kW viene determinada por el esfuerzo necesario para la prestación del servicio con un factor de motorización del 75% (es decir, falla un coche motor).

Otro de requerimiento contractual imponía una aceleración de 1,10 m/s² entre 0 – 40 km/h, que se redujo a 0,95 m/s² de acuerdo con el documento 202006-DF-PR24-DOC-05-VF PREDISEÑO DEL SISTEMA DE TRACCIÓN Y FRENO DEL MATERIAL RODANTE DESTINADO A LA PLMB. Este requerimiento es muy superior a trenes metro convencionales, lo cual eleva notablemente la potencia necesaria a instalar.

Adicionalmente se requería condiciones de arranque en pendiente máxima y carga EL8, el remolque de una unidad en EL8 por una unidad vacía (EL E) con una aceleración mínima de 0.10 m/s² que hacen que la potencia necesaria a instalar en el tren sea del entorno de un 30% superior a trenes actuales.

A modo de ejemplo:

Metro Madrid:

- S-9000 Ansaldo Breda. Potencia instalada 3.168 kW. 6 coches (Mc-R-M-M-R-Mc). Capacidad Tren (EL 6): 1260 viajeros.
- S-8000 Alstom-CAF. Potencia Instalada: 3.040 kW. 6 coches (Mc-R-M-M-R-Mc). Capacidad Tren (EL6): 1270 viajeros.

Metro Barcelona:

- S-5000 CAF. Potencia instalada: 2.700 kW. 5 coches (Mc-M-R-M-Mc). Capacidad Tren (EL6): 826 viajeros.
- S-6000 CAF. Potencia Instalada: 2.700 kW. 5 coches (Mc-M-R-M-Mc). Capacidad Tren (EL6): 1117 viajeros.

Como resumen en la siguiente tabla se muestra la relación de potencia de tracción instalada por tonelada remolcada.

	MODELO	Tara (ton)	Viajeros (EL6)	Peso Total (Ton)	Potencia (Kw)	kw/ton
Barcelona	S-5000	158.775	826	216.60	2700	12.47

	S-6000	169.16	1117	247.35	2700	10.92
Madrid	S-8000	211.448	1272	300.49	3040	10.12
	S-9000	210.75	1260	298.95	3168	10.60
Bogotá		239.53	2000	379.53	4100	10.80

Como puede observarse, la relación potencia/tonelada remolcada del tren propuesto para el Metro de Bogotá está en ratios similares a los trenes actuales en funcionamiento en Madrid y Barcelona.

El consumo obtenido, tras la revisión realizada de las simulaciones eléctricas, y adaptándola a la realidad de estado de carga y régimen de marcha, es de 3.85 kWh / coche x km y no los 6,74 kWh/coche-km que se indican en el Informe de IdV.

La comparación que se realiza en el Informe de IdV con consumos medios del metro de Barcelona y Metro de Madrid es irreal, ya que los trenes que circulan por estas líneas tienen potencias instaladas y capacidad de los trenes no comparables con el tren propuesto para la PLMB.

Efectivamente la potencia mecánica de los trenes de 4.500 kW es muy elevada, pero necesaria (como ya se avisó en distintas ocasiones por Consorcio L1 y como se indica en el propio documento de ingeniería de valor) para las condiciones de aceleración, velocidad, carga y tiempos de recorrido exigidos. Un valor más cercano al que tienen diversas unidades de Metro de elevadas prestaciones en otras ciudades del mundo, sería el de 3.200 kW, pero esto implicaría reducir los valores de aceleración y velocidad comercial.

Si la potencia del tren se reduce, reduciendo la velocidad comercial, el consumo de energía de tracción en la línea bajaría mucho y se podrían reducir las potencias de las SET y de las SER, así como la sección de cable de los anillos de energía.

Consorcio L1 ha revisado y corregido el consumo de tracción de 6,74 kWh/(coche x km) dado inicialmente, considerando las condiciones reales de explotación y la previsión de regeneración de energía obteniendo un valor de **3.85 kWh / coche x km**, el nuevo valor se aproxima más a los valores de otros Metros, y es algo superior al de Metro de Medellín.

En cuanto al consumo de las estaciones, también se ha reducido el consumo calculado para la ventilación y por tanto el consumo global.

Para poder reducir la potencia de las SET, el dimensionamiento de los anillos de media tensión y la potencia de las SER, sería necesario reducir la potencia de los trenes.

Las condiciones iniciales del proyecto no permiten reducir el número de SER, ni de SET, ya que se exige que toda la operación se debe mantener normalmente en caso de fallo completo de una SET cualquiera o de una SER. Reduciendo ese nivel de exigencia, se podrían eliminar, en una primera etapa (que en etapas posteriores se podrían instalar), algunas SET y una SER.

Apartado 5.4.2 del Informe de IdV.

No se puede reducir la potencia instalada en las estaciones, ya que es necesaria por las condiciones de ventilación previstas en caso de incendio y por el resto de equipamiento dispuesto.

Apartado 5.4.3 del Informe de IdV.

El comentario que se realiza en el Informe de IdV sobre la potencia máxima de tracción en toda la línea es incorrecto, ya que los 141 MW de tracción máxima simultánea en 2050 se derivan del consumo real de los trenes y no sólo de la potencia eléctrica consumida en la tracción del tren (hay que tener en cuenta el consumo de los servicios auxiliares) y que en determinados momentos es posible que la energía de frenado de unas unidades no pueda ser aprovechada por otros. Además, no considera los consumos de los trenes dando la vuelta, ni de los trenes que se encuentran en talleres y cocheras. Los 4.500 kW indicados en el Informe son potencia mecánica de tracción y no consumo eléctrico de la unidad, que está próximo a los 5.000 kW. Los valores que plantea de 30% de regeneración de energía sólo se pueden alcanzar si se optimiza la circulación de los trenes para maximizar la coincidencia de trenes acelerando con trenes frenando, lo que implicaría un cierto condicionamiento en la explotación. Valores más reales, sin condicionar la explotación, son valores medios del 20-25% y que tendrán situaciones extremas puntuales de sólo un 12% de regeneración en toda la línea.

Como se indica en el Proyecto, en el producto 18. Alimentación eléctrica, la simulación se realiza principalmente para establecer el dimensionamiento eléctrico de la línea y no para obtener el consumo de tracción (lo que se realiza en el producto de costes de operación y mantenimiento). Estos cálculos tienen un cierto margen, ya que si en un instante se superara la potencia máxima instalada en las SER, se produciría el salto automático de las protecciones y la paralización de todos los trenes hasta que el sistema de alimentación eléctrica reconfigurara los anillos de distribución y el reparto de cargas entre las distintas SER.

Por tanto, sin reducir la potencia de los trenes no es conveniente modificar el valor de 140 MW considerados para la tracción del año 2050.

Apartado 5.4.4 del Informe de IdV.

Conexión en paralelo de ambas vías.

Sin reducir la potencia de los trenes no es posible la puesta en paralelo de las catenarias de ambas vías, ya que no sería posible la protección de la línea en los extrarápidos situados a las salidas de las SET. Por otro lado, esa configuración reduciría mucho las posibilidades de explotación de la línea en situaciones degradadas, ya que cualquier fallo afecta a las dos vías.

SET reversibles.

Durante la redacción del proyecto se analizó y se descartó esta posibilidad, debido a que su instalación supone un elevado coste inicial que requiere muchos años para su amortización. No se recomienda.

4.13. MOP-3 Automatización de Estaciones por reducción de personal

El dimensionamiento de personal viene definido en las Especificaciones Técnicas de los Términos de Referencia.

En ellos, se establecía la necesidad de disponer de un control local en estaciones, lo cual se traducía en un responsable por estación; y un puesto de venta de billetes manual.

El hecho de disponer de una línea totalmente automatizada y con un control de la misma centralizado en el PCC, permite plantearse la posibilidad de prescindir de este control local a todos los niveles, desapareciendo, por tanto, tanto el personal como el equipamiento asociado a dicho puesto.

El ahorro en equipamiento para ese puesto de control considera la eliminación tanto del equipamiento de control como todo el asociado al puesto de trabajo, como pueden ser teléfono, consola de radiocomunicaciones, Interfonía y megafonía.

Por otro lado, otro nivel de automatización de las estaciones viene justificado por la eliminación de la venta manual de taquillas.

En las estaciones se dispone de un número de máquinas expendedoras de billetes que están dimensionadas para atender la demanda de tráfico de la línea, sin necesidad de reforzar el servicio con una venta manual.

Por tanto, es planteable la eliminación de este puesto, eliminándose, por tanto, el personal asociado y el equipamiento asociado.

El ahorro en equipamiento asociado a la eliminación del puesto manual de venta de billetes considera el equipamiento propio de venta y los sistemas auxiliares instalados.

La automatización de estaciones por reducción de personal supone un ahorro total estimado en costo directo de:

- MOP-3 A. Automatización de estaciones por reducción de personal con la línea hasta Estación Calle 127: -\$2.601.806.238 (antes de AIU)
- MOP-3 B: Con la línea hasta Estación Calle 100: -\$ 2.216.353.462 (antes de AIU)

El desglose de esta estimación de ahorro se adjunta en el Apéndice 4 del presente informe.

Dado el pequeño ahorro que implica en el CAPEX, deberá ser el futuro operador el que decida a implantación o no de estos automatismos.

4.14. OPX-3 Análisis detallado del consumo por coche-km

En el anexo 2 del documento 202006-DF-PR26-DOC-01-VF (Producto 26: Estimación de Costos de Operación y Mantenimiento) de Mayo de 2015, Consorcio L1 realizó un análisis más realista de los consumos energéticos del Material Rodante. En el anexo citado se concluía que el consumo estimado era de 4,69 kwh·coche/km.

Posteriormente, se ha procedido a una nueva verificación de las hipótesis y metodología realizada, para cuantificar de forma lo más realista posible la estimación de los consumos energéticos del material rodante.

De los datos obtenidos de las simulaciones de consumos energéticos, (marcha libre, marcha en modo 2 de operación), con regeneración de energía, y sin regeneración de energía, se han redistribuido los consumos para cada estado de carga. Los consumos adoptados a partir de las simulaciones realizadas se muestran en la siguiente tabla:

SIN REGENERACIÓN			CON REGENERACIÓN		
Eh(i)	(T1) M. Tensa (kw/h)	(T4) M. Tendida (kw/h)	Eh(i)	(T1) M. Tensa (kw/h)	(T4) M. Tendida (kw/h)
VACÍO	915.89	620.86	VACÍO	732.70	494.57
EL0	949.74	643.44	EL0	759.78	512.85
EL1	998.63	676.05	EL1	798.90	539.26
EL2	1 047.53	708.66	EL2	838.02	565.66
EL3	1 096.43	741.27	EL3	877.14	592.07
EL4	1 145.33	773.88	EL4	916.26	618.48
EL5	1 194.23	806.50	EL5	955.38	644.88
EL6	1 242.96	839.00	EL6	994.37	671.20

Se ha analizado el porcentaje de disminución de los consumos energéticos de la Marcha Tensa y la Marcha tendida, obteniéndose una reducción del 32.5% del consumo. Estos datos se han contrastado con datos de los consumos de simulaciones de sistemas metro similares (Metro Singapur. Línea Norte-Este) en la cual los resultados obtenidos son del 36.61% de reducción.

Con los datos de los consumos para cada estado de carga, y siguiendo el mismo procedimiento metodológico, se han recalculado los consumos horarios, teniendo en cuenta que en los días laborables en las horas punta, debido a la frecuencia más exigente, se circulará en tiempos próximos a la marcha tensa. En este análisis se han tomado los datos de consumos con regeneración. Se ha considerado una regeneración media del 20% de la energía consumida.

Los resultados obtenidos para un día laborable en el año 2021 se muestran en la siguiente tabla.

	Franja Horaria	SENTIDO 1				SENTIDO 2				Consumo Total Horario
		Densidad (viaj/m ²)	Consumo (KWh/Circ)	Circ / Hora	Total Consumo Hora-Sentido	Densidad (viaj/m ²)	Consumo (KWh/Circ)	Circ / Hora	Total Consumo Hora-Sentido	
DÍA LABORABLE 2021	5:00 - 6:00	2.72	592.07	20	11 841	0.28	539.26	20	10 785	22 627
	6:00 - 7:00	3.10	916.26	24	21 990	0.37	539.26	24	12 942	34 932
	7:00 - 8:00	3.10	916.26	24	21 990	0.16	539.26	24	12 942	34 932
	8:00 - 9:00	2.04	592.07	20	11 841	0.14	539.26	20	10 785	22 627
	9:00 - 10:00	2.81	592.07	13	7 894	0.30	539.26	13	7 190	15 084
	10:00 - 11:00	2.81	592.07	13	7 894	0.30	539.26	13	7 190	15 084
	11:00 - 12:00	2.81	592.07	13	7 894	0.30	539.26	13	7 190	15 084
	12:00 - 13:00	2.72	592.07	20	11 841	0.28	539.26	20	10 785	22 627
	13:00 - 14:00	3.16	618.48	13	8 246	0.38	539.26	13	7 190	15 436
	14:00 - 15:00	3.16	618.48	13	8 246	0.38	539.26	13	7 190	15 436
	15:00 - 16:00	3.16	618.48	13	8 246	0.38	539.26	13	7 190	15 436
	16:00 - 17:00	2.49	592.07	20	11 841	0.23	539.26	20	10 785	22 627
	17:00 - 18:00	3.40	618.48	20	12 370	0.44	539.26	20	10 785	23 155
	18:00 - 19:00	2.49	592.07	20	11 841	0.23	539.26	20	10 785	22 627
	19:00 - 20:00	3.10	618.48	12	7 422	0.37	539.26	12	6 471	13 893
	20:00 - 21:00	3.10	618.48	12	7 422	0.37	539.26	12	6 471	13 893
	21:00 - 22:00	2.34	592.07	12	7 105	0.20	539.26	12	6 471	13 576
	22:00 - 23:00	1.59	565.66	8	4 525	0.06	539.26	8	4 314	8 839
TOTAL CONSUMO DÍA LABORABLE (kw/h)										347 916

Calculados los consumos para cada día tipo, y en todos los escenarios temporales analizados, se obtienen los siguientes resultados.

AÑO 2021			
	Nº DÍAS	CONSUMO	TOTAL
LABORABLES	243	347 916	84 543 670
SABADOS	52	249 793	12 989 243
DOMINGOS Y FESTIVOS	70	179 965	12 597 536
MARCHA EN VACÍO			4 219 444
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)			114 349 892

AÑO 2021	
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)	114 349 892
c x km x año	29 599 366
Consumo (kwh / c x km x año)	3.86

AÑO 2026-29			
	Nº DÍAS	CONSUMO	TOTAL
LABORABLES	243	410 355	99 716 307
SABADOS	52	323 383	16 815 916
DOMINGOS Y FESTIVOS	70	219 456	15 361 900
MARCHA EN VACÍO			5 197 841
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)			137 091 965

AÑO 2026-2029	
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)	137 091 965
c x km x año	35 777 871
Consumo (kw / c x km x año)	3.83

AÑO 2050			
	Nº DÍAS	CONSUMO	TOTAL
LABORABLES	243	541 522	131 589 767
SABADOS	52	428 210	22 266 899
DOMINGOS Y FESTIVOS	70	285 371	19 975 944
MARCHA EN VACÍO			7 772 393
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)			181 605 003

AÑO 2050	
CONSUMO TOTAL ANUAL (kW/h)	181 605 003
c x km x año	46 982 032
Consumo (kw / c x km x año)	3.87

Conclusiones:

Con la proceso de cálculo seguido a lo largo del anexo de referencia, y los ajustes finales realizados en este informe, se considera que el valor medio de consumo de **3.85 kWh / coche x km** se asemejará más fielmente al futuro consumo real del tren.

Esta idea no tiene incidencia en el CAPEX.

5. IDEAS DE LA INGENIERÍA DE VALOR QUE SON ACEPTADAS PARA IMPLEMENTAR EN LOS DISEÑOS

De acuerdo con lo expuesto en el punto anterior, las ideas que se recomienda implementar en los diseños son las que se indican a continuación para las que se ha realizado una estimación económica del ahorro que producirían en CAPEX.

Hay que tener en cuenta que el ahorro que se muestra como suma de todas las ideas analizadas que se consideran viables no debe ser entendido como un ahorro “real” a aplicar sobre la PLMB ya que no todas ellas son compatibles para su aplicación simultánea.

El ahorro total compatible se calculará para la alternativa propuesta.

IDEAS QUE SE PROPONE ACEPTAR AL DISTRITO			Ahorro Capex antes AIU
1	VIA-1: Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota	VÍA-1 A	-\$ 79.355.589.244
		VÍA-1 B	-\$ 158.711.178.488
2	EST-1: Supresión de la Estación Casablanca	EST-1	-\$ 121.074.643.907
3	EST-6: Supresión de la Estación Marly	EST-6 A	-\$ 75.306.186.217
4	EST-6: Supresión de la Estación Marly	EST-6 B	-\$ 110.930.422.326
5	EST-10: Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de longitud de estaciones	EST-10 A	-\$ 127.696.534.370
		EST-10 B	-\$ 119.686.818.269
		EST-10 C	-\$ 142.519.973.075
6	EST-12: Transformación de estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2	EST-12 A	-\$ 46.222.032.733
7	EST-12: Transformación de estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2	EST-12 B	-\$ 21.423.596.950
8	EST-12: Transformación de estaciones tipo 3 en estaciones tipo 2	EST-12 C	-\$ 26.182.692.683
9	TUN-1: Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85	TUN-1	-\$ 61.666.224.508
10	SEÑ-1: Eliminar sistema ATP de respaldo	SEÑ-1 A	-\$ 15.584.649.918
11	COM-1: Integración redes de voz, video y datos en dos redes	COM-1 A	-\$ 12.222.733.437
12	MOP-3: Automatización de estaciones con reducción de personal	MOP-3 A	-\$ 2.601.806.238

Los importes de ahorro indicados corresponden al costo antes de AIU. En el Apéndice 4 del presente informe se ha incluido el desglose de la estimación de ahorro de cada una de estas ideas.

La idea OPX-3 no se ha incluido en la tabla ya que no genera ahorro sobre el CAPEX, pero como se ha indicado en el apartado anterior, se ha revisado el consumo por coche-km.

6. CONSTRUCCIÓN POR FASES HASTA LA CALLE 100

La propuesta que se analiza en este informe consiste en la construcción por fases de la PLMB, desde los patios y talleres hasta la estación de la Calle 100 con su diseño actual, más un tramo adicional para cola de maniobras y almacenamiento de trenes y acabando en una salida de emergencia.

En esta propuesta no se considera el ahorro adicional por la implementación de las ideas de Ingeniería de valor.

El presupuesto de esta fase constructiva se adjunta en la tabla siguiente, en la que se ha indicado también la reducción de costo que supone con respecto al presupuesto de la PLMB.

En esta fase se ha considerado la supresión de la Estación Receptora, por las dificultades constructivas, aunque se debería considerar como nueva situación provisional dada la merma de fiabilidad que implica en el suministro eléctrico.

			PRESUPUESTO PLMB		PRESUPUESTO CALLE 100
	PRESUPUESTO	\$	10.726.897.463.827,00		\$ 9.767.815.788.734,00
0	ESTUDIOS Y DISEÑOS	\$	210.331.322.820,00		\$ 188.602.086.116,00
1	LÍNEA (TÚNEL Y ENTRE PANTALLAS)	\$	2.727.670.629.476,00		\$ 2.246.192.660.681,00
2	OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE CONEXIÓN	\$	2.885.625.934,00		\$ 1.336.913.047,00
3	PUESTO CENTRAL DE CONTROL	\$	45.596.921.681,00		\$ 41.455.367.594,00
4	URBANISMOS Y PAISAJISMO	\$	456.414.882.175,00		\$ 421.897.245.565,00
5	REDES (DESVIO DE REDES Y RECUPERACION)	\$	263.443.216.990,00		\$ 235.003.817.120,00
6	DESVÍO DE TRÁFICO (PLAN DE MANEJO DE TRÁFICO)	\$	124.164.961.903,00		\$ 108.642.329.290,00
8	ESTACIONES	\$	4.135.517.756.104,00		\$ 3.688.109.727.590,00
9	TALLERES Y COCHERAS	\$	502.561.755.437,00		\$ 502.561.755.437,00
10	ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	\$	286.917.985.633,00		\$ 254.635.630.006,00
11	SEÑALIZACIÓN Y CONTROL DE TRENES	\$	211.323.147.359,00		\$ 203.245.934.029,00
12	PUERTAS ANDÉN	\$	116.390.648.121,00		\$ 107.773.818.437,00
13	COMUNICACIONES	\$	218.693.289.606,00		\$ 205.751.681.293,00
14	SUPERESTRUCTURA DE VÍA	\$	177.066.225.119,00		\$ 165.578.330.260,00
15	MATERIAL RODANTE	\$	1.247.919.095.469,00		\$ 1.247.919.095.469,00
16	PRESUPUESTO COMPONENTE SOCIAL				\$ 28.317.493.507,00
17	PRESUPUESTO AMBIENTAL				\$ 120.791.903.293,00
	Costo Total de Presupuesto hasta la Calle 127	\$	10.726.897.463.827,00		\$ 9.767.815.788.734,00
	Costo Total de Presupuesto hasta la Calle 100				\$ 959.081.675.093,00
	Reducción Costo Total de Presupuesto antes de AIU (en %)				8,94%
A	21,58%	\$	2.314.784.311.152,22	21,63%	\$ 2.113.135.041.370,30
I	0,00%	\$	-	0,00%	\$ -
U	3,00%	\$	321.806.923.914,81	3,00%	\$ 293.034.473.662,02
	TOTAL A.I.U.	\$	2.636.591.235.067,03		\$ 2.406.169.515.032,32
	COSTO DIRECTO + A.I.U.	\$	13.363.488.698.894,00		\$ 12.173.985.303.766,30
IVA (sobre la utilidad)	16,00%	\$	51.489.107.826,37		\$ 46.885.515.785,92
	PRESUPUESTO TOTAL LICITACION (IVA incluido)	\$	13.414.977.806.720,40		\$ 12.220.870.819.552,20
	GASTOS ADICIONALES DEL DISTRITO				
MANEJO AMBIENTAL Y SOCIAL	0,50%	\$	67.074.889.033,60		\$ 780.515.609.217,63
PREDIOS Y LEGALIZACION		\$	840.466.932.959,00		\$ 122.208.708.195,52
ASISTENCIA TECNICA EN FASE DE LICITACION DISEÑO Y OBRA	1,00%	\$	134.149.778.067,20		\$ 305.521.770.488,81
INTERVENTORIA FASE DE OBRA	2,50%	\$	335.374.445.168,01		\$ 55.119.259.936,00
AUSCULTACION		\$	55.119.259.936,00		\$ 50.000.000.000,00
ASISTENCIA TECNICA A OPERACIÓN		\$	50.000.000.000,00		
	TOTAL GASTOS ADICIONALES DEL DISTRITO	\$	1.482.185.305.163,82		\$ 1.313.365.347.837,96
	PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO HASTA CALLE 127	\$	14.897.163.111.884,20		
	PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO HASTA CALLE 100				\$ 13.534.236.167.390,20
	REDUCCION DEL PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO CON RESPECTO A CALLE 127 (EN \$)				\$ 1.362.926.944.494,02
	REDUCCION DEL PRESUPUESTO TOTAL PARA CONOCIMIENTO DEL DISTRITO CON RESPECTO A CALLE 127 (EN %)				9,15%

El cronograma de esta alternativa se adjunta en el Apéndice 5, resultando un plazo de ejecución de cinco años y siete meses. No se produce ahorro de plazo ya que son limitativos los tramos 1 y 2.

7. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

7.1. Descripción de las soluciones

A continuación se describen dos soluciones que consisten en la construcción por fases hasta la calle 100, implementando además, las ideas de la Ingeniería de Valor aceptadas por el distrito y que se diferencian entre si por dar una más peso al ahorro presupuestario y la otra al plazo de ejecución.

La primera solución de ahorro máximo presupuestario recoge las siguientes 9 ideas de la Ingeniería de Valor y el análisis de la nueva situación del sistema de alimentación:

- VIA-1 B: Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota.
- EST-1. Supresión de la Estación de Casablanca
- EST-6 B. Supresión de la Estación de Marly
- EST-10 C. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de la longitud de estaciones
- EST-12 C. Transformación de Estaciones tipo 3 en Estaciones tipo 2
- TUN-1: Sustitución de túnel entre pantallas por TBM entre Gran Colombia y Calle 85
- SEÑ-1 B: Eliminar sistema ATP de respaldo
- COM-1 B: Integración redes de voz, video y datos en dos redes
- MOP-3 B: Automatización de estaciones con reducción de personal
- Análisis de la nueva situación del sistema de alimentación eléctrica

La segunda solución que combina el máximo ahorro de presupuesto con el máximo ahorro de plazo recoge las siguientes 8 ideas de la Ingeniería de Valor y el análisis de la nueva situación del sistema de alimentación:

- VIA-1 B: Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota.
- EST-1. Supresión de la Estación de Casablanca
- EST-6 A. Supresión de la Estación de Marly
- EST-10 B. Redistribución de cuartos técnicos y ajuste de la longitud de estaciones
- EST-12 A. Transformación de Estaciones tipo 3 en Estaciones tipo 2
- SEÑ-1 B: Eliminar sistema ATP de respaldo
- COM-1 B: Integración redes de voz, video y datos en dos redes
- MOP-3 B: Automatización de estaciones con reducción de personal
- Análisis de la nueva situación del sistema de alimentación eléctrica

7.2. Análisis de la nueva situación de alimentación eléctrica

En el siguiente apartado se analizan las afecciones que tienen sobre el Sistema de Alimentación Eléctrica de la Primera Línea de Metro de Bogotá PLMB la ejecución por fases hasta la Calle 100.

Condiciones de partida

En primer lugar, la Especificación Técnica del Sistema de Alimentación Eléctrica MB-GC-ET-0013 englobada dentro de los términos de referencia para el diseño de la PLMB, en su apartado 4.3.2 ya plantea un número de al menos 3 subestaciones receptoras (SER), siempre que la solución para funcionamiento normal y degradado sea razonable técnica y económicamente.

La misma Especificación Técnica en su apartado 4.3.3, reafirma el número de al menos 3 SER al exponer que “las tres subestaciones receptoras deberán estar dimensionadas de manera que en caso de fallo o pérdida de suministro de una de ellas (denominado estado n-1), las otras dos puedan garantizar el funcionamiento normal del servicio y en caso de fallo de dos de las tres receptoras (denominado estado n-2), la receptora que quede en funcionamiento debe permitir el mantenimiento de un servicio degradado”.

Además añade que “para el cálculo de las potencias de instalaciones previstas se deberá hacer un estudio completo teniendo en cuenta, entre otros, los siguientes parámetros:

- Potencias instaladas en cada punto (estaciones, pozos de ventilación, talleres, cocheras, patios, ...)
- Factores de simultaneidad aplicados.
- **Reserva para incrementos de potencias en el futuro”.**

En segundo lugar, Codensa, S.A. (empresa distribuidora y suministradora de energía eléctrica), en la actualidad y en el futuro inmediato no puede facilitar una potencia superior a 90 MVA en cada acometida de conexión a las SER.

Estas condiciones iniciales, de la especificación técnica que solicita prestación de servicios degradados de la línea aún en caso de n-2 para las SER, que en el dimensionamiento se contemple los incrementos de

potencias previstos en el futuro (año 2050 con frecuencias de trenes cada 90 segundos), y que Codensa, S.A. no puede garantizar una potencia mayor de 90 MVA en cada acometida, obliga a que para los trenes definidos (4500 kW de potencia eléctrica + 360 kW de servicios auxiliares) tal y como se puede apreciar en las simulaciones y en los cálculos de diseño, el número necesario de SER para la línea sean 3 y con 90 MVA de potencia cada una, 70 MVA destinados para la tracción y 20 MVA para las instalaciones, considerando una RAMS del 99,94 % definida para el Sistema de Alimentación Eléctrica.

Escenario de diseño contenido en el Proyecto Básico Avanzado de la PLMB

Longitud de la Línea:	27,060 km
Potencia eléctrica del material rodante:	4500 kW y 360 kW SS.AA.
Número de estaciones:	27
Velocidad comercial a marcha libre:	37,5 km/h
Frecuencia entre trenes:	150 segundos
Número de subestaciones de tracción (SET):	14
Potencia de las subestaciones de tracción (SET):	2x4000 kVA (Año 2021)
Número de subestaciones receptoras (SER):	3
Potencia de las subestaciones receptoras (SER):	90 MVA (preparadas para soportar la explotación de futuro con frecuencias entre trenes de 90 segundos en 2050).
Número de centros de transformación (CT):	27
Potencia de los centros de transformación (CT):	<ul style="list-style-type: none"> 2x2000 kVA en todos los CTs de estaciones, excepto en los siguientes casos: 2x1000 kVA en el CT del PCC. 2x3150 kVA en el CT de la estación Calle 127. 2x2500 kVA en el CT de la estación La Rebeca.

- 2x3150 kVA en el CT Taller de Mantenimiento, en Talleres y Cocheras.
- 1x800 kVA en el CT Subestación en Talleres y Cocheras.
- 1x1600 kVA en el CT Edificio TVC, en Talleres y Cocheras.

Esto permite que en situación de funcionamiento n-1 de las SER (una de las receptoras falle), el sistema permita la prestación del 100 % del servicio de la línea. En caso de funcionamiento n-2 de las SER (dos de las tres receptoras fallen), el sistema podrá prestar un servicio degradado de la línea con un 69% de la potencia demandada en las estaciones y trenes cada 240 segundos en condición de marcha libre (sin limitación de velocidad ni potencia), y cada 180 segundos en caso de operación de los trenes con limitación de velocidad y/o potencia manteniendo velocidades comerciales en este último caso de 35,4 km/h.

Nuevo escenario de inicio para la PLMB de construcción por fases hasta la calle 100

Longitud de la Línea:	24,560 km
Potencia eléctrica del material rodante:	4500 kW y 360 kW SS.AA.
Número de estaciones:	23
Velocidad comercial a marcha libre:	≥ 37,5 km/h
Frecuencia entre trenes:	150 segundos
Número de subestaciones de tracción (SET):	11
Potencia de las subestaciones de tracción (SET):	2x4000 kVA (Año 2021) y posibilidad de dejar las subestaciones de Gran Colombia y Santo Tomas con 1x4000 kVA.
Número de subestaciones receptoras (SER):	2 inicialmente (no cumple la MB-GC-ET-0013 englobada en los términos de referencia que exige una situación de n-2 de las SER con funcionamiento de la línea en degradado)

Potencia de las subestaciones receptoras (SER): 90 MVA (preparadas para soportar la explotación de futuro con frecuencias entre trenes de 90 segundos en 2050).

Número de centros de transformación (CT): 23

Potencia de los centros de transformación (CT):

- 2x2000 kVA en todos los CTs de estaciones, excepto en los siguientes casos:
- 2x1000 kVA en el CT del PCC.
- 2x2500 kVA en el CT de la estación La Rebeca.
- 2x3150 kVA en el CT Taller de Mantenimiento, en Talleres y Cocheras.
- 1x800 kVA en el CT Subestación en Talleres y Cocheras.
- 1x1600 kVA en el CT Edificio TVC, en Talleres y Cocheras.

Esto permite la explotación de la línea con frecuencias de trenes hasta 90 segundos (en cuyo caso se añadirá el tercer grupo de 4000 kVA a las SET previsto para esa frecuencia en el año 2050), si no hay fallos de las SER.

En caso de fallo de una receptora (n-1), se permite el 100 % de la potencia de tracción a marcha libre y frecuencia de trenes cada 150 segundos, permitiendo el uso del 80 % de la potencia demandada por las instalaciones de las estaciones.

En caso de fallo de una receptora (n-1), se podrían establecer frecuencias mayores entre trenes (< 150 segundos), estableciendo limitaciones en la marcha de operación, por ejemplo para el caso estimado de frecuencias de 130 segundos de paso entre trenes para el año 2026.

En caso de fallo de las dos receptoras (n-2), solo funcionarían los servicios críticos de las instalaciones, sin poder hacer una explotación de los trenes en la línea y cuya probabilidad de ocurrencia es como máximo la establecida por la probabilidad de fallo en el diseño (0,06%), que vendría a ser en torno a 5 horas al año. Esto supone una pequeña reducción de la fiabilidad y no cumplir con la especificación técnica MB-GC-ET-0013 englobada en los términos de referencia que exige una situación de n-2 de las SER con funcionamiento de la línea en degradado.

La construcción de solo 2 SER en el nuevo escenario tendría un carácter temporal y contemplando las circunstancias ya descritas. Si se incrementaran más las frecuencias entre los trenes sin limitaciones en la operación de los mismos, si se construyeran más estaciones o si la longitud de la línea se incrementara,

sería necesario construir la tercera SER o analizar en ese momento si Codensa, S.A., puede incrementar la potencia de las acometidas a las SER.

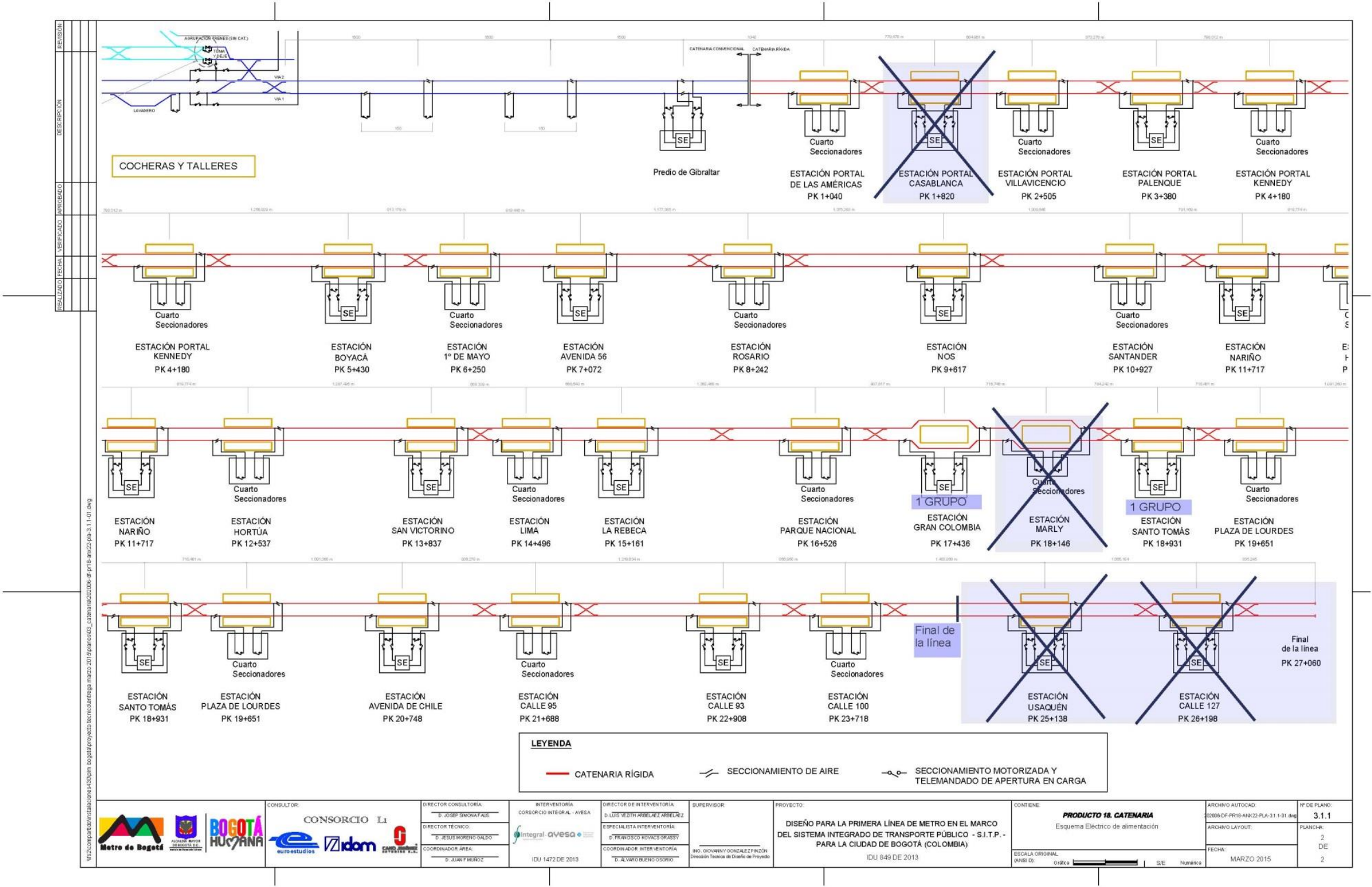
Por tanto y como conclusión, se considera que la no construcción de la tercera SER, sería una cuestión temporal hasta que el incremento de la demanda lo requiera (mayor número de estaciones y/o trenes) o se prolongue la línea.

Identificación de afecciones

En este epígrafe se identifican de manera simplificada las modificaciones que se van a realizar en la PLMB respecto a lo definido en el Proyecto Básico Avanzado:

- En la fase inicial de la PLMB, se prevé que el tramo de túnel concluya en la estación de Calle 100, por lo que no se construirían las estaciones de Usaquén y Calle 127.
- Se prevé suprimir la estación de Casablanca.
- Se prevé suprimir la estación de Marly.

A continuación se muestra sobre la nueva configuración del esquema eléctrico de catenaria:



Repercusiones de las afecciones

En este epígrafe se analiza la repercusión técnica sobre el sistema definido de alimentación eléctrica motivado por la nueva configuración de la línea.

Al suprimirse las estaciones de Usaquén y Calle 127 y terminar el túnel en la estación de Calle 100:

- Se podría retrasar temporalmente la construcción de la SER de Usaquén.
- Se suprimen las dos SET y CT de las estaciones de Usaquén y Calle 127.
- Se suprime en torno a 2,5 km de túnel, lo que implicaría en líneas generales:
 - La supresión de catenaria rígida en ese tramo.
 - La supresión del cable de guarda (LA110) en ese tramo.
 - La supresión de seccionadores telemandados para catenaria rígida en ese tramo.
 - La supresión de aisladores de sección en ese tramo.
 - La supresión de los equipos de potencial a carril
 - La supresión de dos pozos de negativos.
 - La supresión de los Blue Light Stations en las estaciones eliminadas.
 - La supresión de las placas de positivos en ese tramo.
 - La supresión de los cables de media tensión (34,5 kVca) que conforman los anillos de distribución para la tracción y las instalaciones de las estaciones, así como la bandejas portacable en ese tramo.

Al suprimirse la estación de Casablanca, implicaría en líneas generales:

- La supresión de la SET y el CT de la estación de Casablanca (si fuera necesario podría reforzarse este tramo con el tendido de cable feeder desde las subestaciones más cercanas).
- La supresión de seccionadores telemandados para catenaria rígida en ese tramo.
- La supresión de aisladores de sección en ese tramo.
- La supresión de los equipos de potencial a carril
- La supresión de un pozo de negativos
- La supresión de los Blue Light Stations en la estación eliminada.
- La supresión de las placas de positivos en ese tramo.

La eliminación de las SET y CT de las estaciones suprimidas no supondría un problema ya que en esos puntos se eliminarán las paradas y arranques de todos los trenes y la potencia necesaria para el tránsito normal se puede suministrar desde las subestaciones de tracción colindantes.

Al suprimirse la estación de Marly, implicaría en líneas generales:

- A falta de un estudio detallado con simulaciones que así lo confirme, podría inicialmente instalarse un solo grupo en las SET de las estaciones colindantes a Marly (Gran Colombia y Santo Tomás), ya que ahora todos los trenes no arrancarían ni pararán en Marly. Al estar en el tramo intermedio entre las estaciones de Gran Colombia y Santo Tomás, los trenes ya habrán alcanzado la velocidad de operación y la mantendrán con ciclos de aceleración y deriva, pero sin acelerar de manera permanente, lo que supondrá unas menores exigencias de potencia en ese tramo, pudiéndose reforzar en caso necesario con tendido de cable feeder desde las subestaciones más cercanas para evitar caídas de tensión elevadas.
- La supresión de seccionadores telemandados para catenaria rígida en ese tramo.
- La supresión de aisladores de sección en ese tramo.
- La supresión de los equipos de potencial a carril.
- La supresión de un pozo de negativos.
- La supresión de los Blue Light Stations en la estación eliminada.
- La supresión de las placas de positivos en ese tramo.

Repercusión en el presupuesto

El presupuesto de ejecución material para la parte de alimentación eléctrica asciende a 286.917.985.633 COP.

Con la nueva configuración de la línea, el presupuesto de ejecución material de la parte de alimentación eléctrica pasa a ser de 236.487.542.337 COP, lo que supone una reducción de 50.430.443.296 COP (17,77%).

Conclusiones

La nueva configuración de la línea, que prevé que el tramo de túnel concluya en la estación de Calle 100, suprimiéndose las estaciones de Casablanca, Marly, Usaquén, y Calle 127, conllevan unas afecciones sobre el diseño original contenido en el Proyecto Básico Avanzado:

- La no construcción de las SET y CT de las estaciones de Casablanca, Usaquén y Calle 127, la posibilidad de reducir a un solo grupo de transformación en las SET de Gran Colombia y Santo Tomás, la reducción de la instalación de catenaria rígida y de los conductores de los anillos de media tensión (tracción e instalaciones) en la parte de túnel suprimido.
- Permitiría el retraso temporal de la construcción de la SER de Usaquén permitiendo una explotación normal de la línea. Si se incrementase la demanda (nuevas estaciones) o se ampliara la longitud de la línea, sería necesario la construcción de la tercera receptora.

En el caso de que fallara una de las receptoras (estado n-1), las instalaciones de las estaciones deberán funcionar degradadas al 80 %, pero podría operarse la línea al 100 % con frecuencias de 150 segundos entre trenes, siendo necesario establecer limitaciones en la marcha de operación, si las frecuencias aumentasen, por ejemplo, para el escenario estimado para el año 2026 con frecuencias de 130 segundos entre trenes.

- En caso de que fallaran las dos receptoras (estado n-2), solo funcionarían los servicios críticos de las instalaciones de las estaciones, sin poder hacer una explotación de los trenes en la línea (sin servicio de tracción) y cuya probabilidad de ocurrencia es como máximo la establecida por la probabilidad de fallo en el diseño (0,06%), que vendría a ser en torno a 5 horas al año. Esto supondría una pequeña reducción de la fiabilidad real y no cumplir con la especificación técnica MB-GC-ET-0013 englobada en los términos de referencia que exige una situación de n-2 de las SER con funcionamiento de la línea en degradado.
- Se considera que la no construcción de la tercera SER, tendría un carácter temporal hasta que haya un incremento de la demanda (mayor número de estaciones y/o trenes) o se prolongue la línea, en cuyo caso sería necesario construir la tercera SER o analizar en ese momento si Codensa, S.A., puede incrementar la potencia de las acometidas a las SER existentes.
- Desde el punto de vista económico, estas afecciones tienen un impacto significativo en el presupuesto de alimentación eléctrica pasando de 283.837.552.241 COP iniciales a 236.487.542.337 COP, lo que supone una reducción del 20% (50.430.443.296 COP).
- Si con la nueva configuración de la línea, se asume como válida la pequeña reducción de la fiabilidad, la reducción de la inversión inicial es considerable.

7.3. Análisis operacional

Para analizar la reducción del material móvil por las mejoras en trazado y supresión de las Estaciones de Casablanca y Marly y la reducción del trazado hasta la calle 100, se han realizado nuevas simulaciones de marcha que se adjuntan en el Apéndice 6 del presente informe, obteniéndose los siguientes resultados

La simulación realizada tiene su inicio en la estación de Portal de las Américas y finaliza en Calle 100.

En el trazado, al igual que en el escenario 1 se han suprimido las estaciones de Casablanca y Marly.

Los datos de demanda, necesarios para la obtención de los tiempos de parada, son los mismos que en el escenario operacional inicial, ya que no se disponen de datos de demanda con la nueva situación. Los tiempos de parada podrían sufrir leves modificaciones, no siendo significativos para la obtención de la flota necesaria.

La longitud total del trazado es de 29.127 m, desglosados de la siguiente forma:

- Ramal Técnico: 5.617 m
- Tramo en Explotación: 22.678 m
- Culatones Calle 100: 841 m

Los tiempos de explotación resultantes son:

METRO BOGOTÁ LÍNEA 1: PORTAL DE LAS AMÉRICAS - CALLE 100							
TIEMPOS DE EXPLOTACIÓN (4100 kW)							
ESTACIÓN	PK	DISTANCIA ENTRE ESTACIONES	TIEMPO PARADA	T1	T2	T3	T4
PORTAL DE LAS AMERICAS	1+041		00:00:30				
VILLAVICENCIO	2+505	1+464	00:00:30	00:01:25	00:01:29	00:01:33	00:01:33
PALENQUE	3+378	0+873	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06
KENNEDY	4+176	0+798	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:01	00:01:01
BOYACÁ	5+433	1+257	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22
AV. 1º DE MAYO	6+246	0+813	00:00:20	00:00:57	00:01:00	00:01:02	00:01:02
AVENIDA 68	7+073	0+827	00:00:40	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:01:03
ROSARIO	8+242	1+169	00:00:20	00:01:12	00:01:16	00:01:18	00:01:18
NQS	9+617	1+375	00:00:30	00:01:22	00:01:26	00:01:29	00:01:29
SANTANDER	10+927	1+310	00:00:30	00:01:20	00:01:24	00:01:27	00:01:27
NARIÑO	11+718	0+791	00:00:20	00:00:58	00:01:01	00:01:02	00:01:02
HORTUA	12+538	0+820	00:00:30	00:01:01	00:01:04	00:01:06	00:01:06
SAN VICTORINO	13+834	1+296	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
LIMA	14+494	0+660	00:00:30	00:00:52	00:00:55	00:00:56	00:00:56
LA REBECA	15+167	0+673	00:00:30	00:00:52	00:00:55	00:00:56	00:00:56
PARQUE NACIONAL	16+529	1+362	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
GRAN COLOMBIA	17+583	1+054	00:00:20	00:01:07	00:01:10	00:01:13	00:01:13
SANTO TOMAS	18+938	1+355	00:00:30	00:01:19	00:01:23	00:01:26	00:01:26
PLAZA LOURDES	19+656	0+718	00:00:20	00:00:55	00:00:58	00:00:59	00:00:59
AV. DE CHILE	20+748	1+092	00:00:40	00:01:08	00:01:11	00:01:14	00:01:14
CALLE 85	21+693	0+945	00:00:30	00:01:02	00:01:05	00:01:07	00:01:07
PARQUE 93	22+910	1+217	00:00:30	00:01:15	00:01:19	00:01:22	00:01:22
CALLE 100	23+719	0+809	00:00:30	00:00:57	00:01:00	00:01:02	00:01:02
Velocidad Comercial (km/h)		TIEMPO TOTAL		00:10:50	00:24:31	00:25:45	00:26:36
36.35							

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2050	
Frecuencia HP	00:01:30
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:37:26
Inversión Marcha Calle 127	00:00:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:37:26
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:00:00
Total Ciclo	01:14:52
Nº Unidades en Servicio	50
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	5
Unidades por pérdida de vuelta	3
Total Unidades	58

Manteniendo las frecuencias horarias descritas en el estudio operacional a lo largo del día y para los distintos días tipo planteados (Laborable, Sábados, Domingos y Festivos), la producción ferroviaria resultante es:

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2021 (FREC 00:02:30)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	292	584	141 912
Sábados	52	224	448	23 286
Domingos y Festivos	70	158	316	22 120
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				187 318
Longitud Itinerario (km)				22 678
KM con VIAJEROS / AÑO				4 247 998
KM sin VIAJEROS / AÑO				212 400
TOTAL KM / AÑO				4 460 398
Flota				41
TOTAL KM / TREN-AÑO				108 790

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2026-2029 (FREC 00:02:10)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	347	694	168 714
Sábados	52	293	586	30 487
Domingos y Festivos	70	193	386	27 020
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				226 221
Longitud Itinerario (km)				22 678
KM con VIAJEROS / AÑO				5 130 239
KM sin VIAJEROS / AÑO				256 512
TOTAL KM / AÑO				5 386 751
Flota				41
TOTAL KM / TREN-AÑO				131 384

Los tiempos resultantes en el sentido contrario son similares a los obtenidos.

Para los distintos horizontes temporales planteados en el estudio, la flota resultante es:

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2021	
Frecuencia HP	00:02:30
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:37:26
Inversión Marcha Calle 127	00:02:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:37:26
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:02:00
Total Ciclo	01:18:52
Nº Unidades en Servicio	32
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	4
Total Unidades	36

DIMENSIONAMIENTO FLOTA 2026-2029	
Frecuencia HP	00:02:10
Tiempo de Ciclo	
Portal de Las Américas - Calle 127	00:37:26
Inversión Marcha Calle 127	00:02:00
Calle 127 - Portal de Las Américas	00:37:26
Inversión Marcha Portal de Las Américas	00:02:00
Total Ciclo	01:18:52
Nº Unidades en Servicio	37
Reserva Operativa + Mantenimiento 10%	4
Total Unidades	41

PRODUCCIÓN FERROVIARIA AÑO 2050 (FREC 00:01:30)				
	Días	Circulaciones / Sentido	Circulaciones / Día	Total
Día Laborable	243	455	910	221 130
Sábados	52	375	750	39 000
Domingos y Festivos	70	250	500	35 020
TOTAL CIRCULACIONES / AÑO				295 150
Longitud Itinerario (km)				22 678
KM con VIAJEROS / AÑO				6 693 412
KM sin VIAJEROS / AÑO				334 671
TOTAL KM / AÑO				7 028 082
Flota				58
TOTAL KM / TREN-AÑO				121 174

Señalar que para el cálculo de los km recorridos por cada tren al año en el escenario de puesta en funcionamiento (2021) se ha adoptado la **misma hipótesis de compra de material que en el Estudio**

Operacional de Referencia, que consiste en la compra al inicio de la explotación comercial de la línea, de la flota resultante para el año 2026-2029.

Resumen Comparativo de Escenarios:

A continuación se realiza un análisis comparativo entre el Escenario de Referencia (Escenario 0) y los dos Escenarios 1 y 2 analizados en el presente informe:

		Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2
Flota	2021	40	39	36
	2026-2029	47	44	41
	2050	66	64	58
Velocidad Comercial)km/h)		35.48	36.82	36.35
Tiempo Recorrido (T4_Marcha Tendida)		00:30:16	00:29:21	00:26:36
Tiempo de Parada		00:12:20	00:11:40	00:10:50

Como se puede ver en la tabla resumen respecto a la flota recomendada de compra se ahorran 6 trenes.

Esto implica que la compra de flota recomendada se reduciría en seis unidades, y sus correspondientes recambios, piezas de parque y útiles específicos, lo que supone un ahorro estimado (antes de AIU) de:

- VIA-1 A. Optimización del trazado para aumentar la velocidad comercial y reducir flota - \$158.711.178.478.

El desglose de la estimación de este ahorro se adjunta en el Apéndice 7 del presente informe.

7.4. Análisis presupuestario

Se adjunta a continuación tabla resumen con el resultado de incorporar los ahorros compatibles para la primera solución de máximo ahorro de presupuesto.

[illegible]

El desglose de la estimación de estos ahorros se adjunta en el Apéndice 7 del presente informe.

7.5. Análisis de plazos

Es importante aclarar que los tiempos sin ejecución que se presentan entre la llegada de la tuneladora, terminación del pozo de lanzamiento tercer milenio y el inicio de las actividades preliminares de túnel, se origina en razón a que no se consigue adelantar el inicio del tramo 3 puesto que la estación SAN VICTORINO es especial en dos fases y el paso de la tuneladora por la contrabóveda es en dos (2) años un mes y esto limita su inicio. Igualmente sucede con el tiempo que transcurre entre el acta de inicio de los diseños y el pedido de la tuneladora (tres meses), ya que el tiempo necesario para realizar el diseño del escudo de la tuneladora para poder hacer el pedido.

En el Apéndice 5 se incluye los cronogramas de las siguientes alternativas:

1. Trazado hasta Calle 127 con túnel ejecutado entre pantallas desde Gran Colombia hasta la Estación Calle 127. *(CRONOGRAMA BASE PRIMERA LÍNEA DEL METRO DE BOGOTÁ)*
2. Trazado hasta Calle 100 sin considerar la supresión de la Estación de Casablanca y Marly y túnel ejecutado entre pantallas desde Gran Colombia hasta la Estación Calle 100. *(CRONOGRAMA BASE HASTA CALLE 100_con Est. Casablanca y Marly)*
3. Trazado hasta Calle 100 con pantallas en la carrera 13. *(CRONOGRAMA IdV HASTA CALLE 100_sin estaciones)*
4. Trazado hasta Calle 100 con tuneladora en la carrera 13. *(CRONOGRAMA IdV TÚNEL CALLE 85_sin estaciones)*

Las alternativas 1, 2 y 3 tienen un plazo de ejecución de cinco años y ocho meses. No se produce ahorro de plazo ya que son limitativos los tramos 1 y 2.

En la alternativa 4 del trazado hasta Calle 100 Trazado hasta Calle 100 con tuneladora en la carrera 13, el plazo aumenta en siete meses hasta seis años y tres meses.